CoINI 2024

UTN·La Plata

XVII CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y AFINES

LIDERANDO EL DESARROLLO DE LA INDUSTRIA 5.0



ORGANIZAN

UTN·La Plata

aacini
ASOCIACIÓN ARGENTINA DE CARRERAS DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

SOSTENIBILIDAD | CONOCIMIENTO | INNOVACIÓN | DESARROLLO | INDUSTRIA 5.0

Universidad Tecnológica Nacional
XVII Congreso Internacional de Ingeniería Industrial y Afines – COINI 2024; Compilación de Oscar Antonio Morcela. - 1a ed. – La Plata: Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional La Plata, 2024.
Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online
ISBN en trámite

1. Ingeniería. 2. Ingeniería Industrial. I. Morcela, Oscar Antonio, comp.; II. Sánez, Juan, comp.
CDD 620

UTN·La Plata

COINI 2024

XVII CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y AFINES

LIDERANDO EL DESARROLLO DE LA INDUSTRIA 5.0



La **UTN La Plata** es una institución pública de educación superior orientada a la ingeniería y la tecnología, situada en la intersección de la Avenida 60 y calle 124, en la ciudad de Berisso, provincia de Buenos Aires, Argentina. La facultad cuenta con una oferta de seis carreras de ingeniería; entre ellas ingeniería industrial.

En conjunto con la Asociación Argentina de Carreras de Ingeniería Industrial y Carreras Afines (**AACINI**) la UTN La Plata organizó el XVII Congreso de Ingeniería Industrial (**COINI 2024**) un encuentro de relevancia académica, científica y empresarial. Bajo el lema **"Liderando el desarrollo de la Industria 5.0"**, esta edición reflejó el compromiso de impulsar la innovación, la colaboración y la excelencia en este campo.

El congreso, considerado un referente académico para las carreras de ingeniería industrial dictadas en las universidades argentinas, se llevó a cabo los días **31 de octubre y 1 de noviembre de 2024** en las instalaciones de la UTN La Plata. Durante el evento se abordaron los siguientes ejes temáticos:

- Ambiente y Sostenibilidad
- Educación en la Ingeniería Industrial
- Industrias del Conocimiento
- Operaciones y Logística
- Organizaciones y Economía
- Producto e Innovación

Asimismo, en el marco del congreso se llevó a cabo la V Jornada Internacional de la Mujer en Ingeniería Industrial y Carreras Afines (**JIM 2024**).

El congreso fue certificado como **"Evento Sostenible"** por el programa **UTN Sustentable.**
Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (**PNUMA**), un evento sostenible es aquel "diseñado, organizado y desarrollado de manera que se minimicen los potenciales impactos ambientales negativos, y se genere un legado positivo para la comunidad anfitriona y todos los involucrados".

ORGANIZAN

UTN·La Plata

aacini
ASOCIACIÓN ARGENTINA DE CARRERAS DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

UTN·La Plata

COINI 2024

XVII CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y AFINES

AUTORIDADES

XVII COINI 2024

PRESIDENTE HONORARIO
Mg. Ing. Luis Ricci
Decano UTN-FRLP

PRESIDENTE
Mg. Agustín Caferri
Director del Departamento de Ingeniería Industrial
Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional La Plata

VICEPRESIDENTE
Dr. Ing. Mario Lurbé
Presidente de la Asociación Argentina de Carreras de Ingeniería Industrial y Carreras Afines (AACINI)

COMUNICACIÓN Y RELACIONES INSTITUCIONALES
Esp. Lic. María Laura Gallegos
Secretaria de AACINI

PRESIDENTE DEL COMITÉ CIENTÍFICO, EVALUACIONES Y PUBLICACIONES
Mg. Ing. Antonio Morcela
Vicepresidente Segundo de AACINI

COORDINADORA DE LA V JORNADA INTERNACIONAL DE LA MUJER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL (JIM 2024)
Mg. Ing. Claudia Zárate

ORGANIZAN

UTN·La Plata

aacini
ASOCIACIÓN ARGENTINA DE CARRERAS DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y AFINES

UTN·La Plata

COINI 2024

XVII CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y AFINES

REUNIÓN DE DIRECTORES/AS DE CARRERAS DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y AFINES





DÍA, LUGAR Y HORARIO

Día: viernes 01/11/24

Horario: 8.00hs a 12:30hs – **PRESENCIAL**

Lugar: Puerto La Plata, Buenos Aires. Incluye desayuno y almuerzo.

Ubicación:
https://www.google.com/maps/search/puerto+la+plata/@-34.8624738,-57.8972543,1255m/data=!3m2!1e3!4b1?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI0MTAyNy4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D

COORDINACIÓN GENERAL Y MODERACIÓN

Dr. Mario Lurbé (Presidente AACINI)
Mg. Agustín Caferri (Presidente COINI 2024)

Secretaria de Actas: Lic. María Laura Gallegos

DESARROLLO Y TEMAS

aacini
ASOCIACION ARGENTINA DE CARRERAS DE INGENIERIA INDUSTRIAL

8:00 Encuentro UTN La Plata.

8:50 Llegada al Puerto La Plata.

9:00 **Apertura**
- Palabras de bienvenida a cargo de autoridades de AACINI y UTN La Plata.

9:10 **Puerto LP**
- Presentación a cargo del presidente del Consorcio Puerto La Plata.

9:20 **Asociación de Estudiantes de Ingeniería Industrial y Carreras Afines (AArEII)**
- Presentación de la nueva CD de AArEII
- Resultados de Reunión de Directores en el marco de CAEII.
- Oportunidades y Propuestas para la articulación en red.

10:10 **Experiencias en el proceso de Acreditación**
- Primeros resultados de experiencias de acreditación: relevamiento a las carreras realizado por la Comisión de Enseñanza de AACINI. (M. Liliana Cerrano. M. Laura Gallegos)

10:40 **Institucional AACINI**
- Informe del Presidente de AACINI
- Firma del Estatuto
- Organizonión de la AACINI: Comisiones, Proyectos y actividades 2025

11:10 **Congreso COINI**
- Informe del presidente COINI 2024
- AACINI-COINI Internacional
- Postulación de Sedes COINI 2025. Selección de sede y sede alternativa.

11:40 **Contexto de la Educación Superior**
- Presupuesto Universidades públicas
- Espacio de intercambio.

11:55 **Acta y Cierre**

El congreso fue certificado como **"Evento Sostenible"** por el programa **UTN Sustentable**.

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (**PNUMA**), un evento sostenible es aquel "diseñado, organizado y desarrollado de manera que se minimicen los potenciales impactos ambientales negativos, y se genere un legado positivo para la comunidad anfitriona y todos los involucrados".

ORGANIZAN

UTN·La Plata

aacini
ASOCIACIÓN ARGENTINA DE CARRERAS DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y AFINES

CoINI 2024 · UTN · La Plata

XVII CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y AFINES

RESULTADOS DEL RELEVAMIENTO DEL PROCESO DE ACREDITACIÓN

Comisión de Enseñanza – AACINI

Agosto – Noviembre 2024

8 UNIVERSIDADES ENTREVISTADAS

- UTN-FRSN
- UNICEN
- UNC
- UNMdP
- UNTdF
- UNNE
- ITBA
- Universidad de Palermo

ESTADO DEL PROCESO

4 CARRERAS
Presentaron documentación y esperan la visita de pares

3 CARRERAS
Recibieron visita de pares y elaboraron respuestas al informe

1 CARRERA
Completó el proceso y obtuvo la acreditación

PRINCIPALES HALLAZGOS

FORMACIÓN POR COMPETENCIAS
- ✓ Resultados de aprendizaje
- ✓ Matrices de competencias
- ✓ Capacitación docente

INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN
- ✓ Vinculación con empresas
- ✓ Publicaciones científicas
- ✓ Participación en congresos
- ✓ Relación con la comunidad

FORMACIÓN PRÁCTICA
- ✓ Laboratorios
- ✓ Prácticas Profesionales Supervisadas (PPS)
- ✓ Visitas técnicas
- ✓ Trabajo con empresas e instituciones

GESTIÓN INSTITUCIONAL
- ✓ Equipos multidisciplinarios
- ✓ Solierazgo departamental
- ✓ Distribución de tareas
- ✓ Sistemas de aseguramiento de la calidad

PRINCIPALES DESAFÍOS

- Recolección y organización de evidencias
- Carga de información en CONEAU Global
- Tiempo y dedicación requeridos
- Disponibilidad de recursos humanos específicos

BUENAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS

- Capacitación permanente
- Elaboración de instructivos y material propio
- Documentación sistemática de actividades
- Integración entre docencia, investigación y extensión
- Participación de estudiantes y sector productivo
- Vinculación con la industria y la comunidad

EXPERIENCIA DE LOS PARES EVALUADORES

- Trato respetuoso y constructivo
- Solicitudes de aclaraciones puntuales y específicas
- Valoración del equilibrio teoría – práctica
- Importancia de la relación con el sector productivo
- Reconocimiento de laboratorios y actividades prácticas

MENSAJE CLAVE

"MENOS ES MÁS"

Describir exactamente lo solicitado y respaldarlo con evidencias claras y pertinentes.

Comisión de Enseñanza – AACINI
M. Liliana Cerrano – Esp. Lic. María Laura Gallegos

UTN · La Plata | aacini ASOCIACIÓN ARGENTINA DE CARRERAS DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y AFINES

UTN·La Plata

COINI 2024

XVII CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y AFINES

COINI 2024
EN IMÁGENES





Dos jornadas de intercambio, aprendizaje y colaboración
que nos inspiran a seguir liderando
el desarrollo de la **Industria 5.0.**

ORGANIZAN

UTN·La Plata

aacini
ASOCIACIÓN ARGENTINA DE CARRERAS DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

COINI 2024

UTN La Plata

XVII CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y AFINES

LIDERANDO EL DESARROLLO DE LA INDUSTRIA 5.0

JUEVES 31 DE OCTUBRE

10:00 h - 10:30 h	**Apertura COINI 2024** Apertura - Autoridades - Comité Organizador
10:30 h - 11:30 h	**Conferencia Magistral #1** **Transformación digital: Optimización de procesos** Ignacio Suárez - Director de Industrial en Cervecería y Maltería Quilmes
12:00 h	**Almuerzo** (libre)
14:00 h - 17:00 h	**Bloque #1: Exposiciones en paralelo COINI2024**
14:00 h - 17:00 h	**V Jornada Internacional de la Mujer en la Ingeniería Industrial**
17:30 h - 18:30 h	**Conferencia Magistral #2** Espacio reservado a charla desde YPF SA
21:00 h	**Cena de camaradería***

Acceda a la web para tener más detalles del evento

https://coini2024.frlp.utn.edu.ar

*Solo para aquellas personas que hayan confirmado

UTN·La Plata

COINI 2024

XVII CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y AFINES

LIDERANDO EL DESARROLLO DE LA INDUSTRIA 5.0

VIERNES 01 DE NOVIEMBRE

9:00 h - 12:00 h	**Visitas a planta industrial**
9:00 h - 13:00 h	**Reunión AACINI**** En instalaciones del PLP
13:30 h	**Conferencia Magistral #3** **Desarrollo de Habilidades Gerenciales para estudiantes de Ingeniería Industrial, incorporando el uso de Realidad Aumentada** Gloria Valdivia - Profesora de UNIFE, Perú
14:30 h - 17:30 h	**Bloque #2: Exposiciones en paralelo COINI2024**
14:00 h - 16:00 h	**Visitas a planta industrial**
18:00 h - 19:00 h	**Conversatorio** Conversatorio "Liderando el desarrollo de la Industria 5.0"
19:00 h	**Cierre de COINI 2024**

Acceda a la web para tener más detalles del evento

https://coini2024.frlp.utn.edu.ar

*Solo para miembros de la AACINI y Representantes de direcciones de carrera

UTN·La Plata

CoINI 2024

XVII CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y AFINES

LIDERANDO EL DESARROLLO DE LA INDUSTRIA 5.0

UTN·La Plata 70 aniversario 1954-2024

aacini
ASOCIACION ARGENTINA DE CARRERAS DE INGENIERIA INDUSTRIAL

CRONOGRAMA DE EXPOSICIONES

JUEVES
31/10

AUDITORIO 2			
HORARIO	**CODIGO**	**TITULO**	**AUTOR**
14:30 - 14:50	CO24-B13	INGENIERÍA BIOECONÓMICA PARA LA IDENTIFICACIÓN Y DESARROLLO DE CLUSTER PRODUCTIVOS EN LA REGIÓN CHACO AUSTRAL	**TAMARA LÍA JACHESKY** LUIS MORALES MANUEL ALEJANDRO ALVAREZ CAMILA ELIZABETH PETERS
14:50 - 15:10	CO24-B18	LOGÍSTICA ENERGÍA Y SOSTENIBILIDAD, REVISIÓN DE LITERATURA	**RUBEN MARIO LURBÉ** ALEJANDRO AROCA BABICH
15:10 - 15:30	CO24-B20	APROXIMACIÓN A LA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE EN EL SECTOR PYME -ENFOQUE MEDIANTE EMPLEO DE HERRAMIENTAS DE GESTIÓN DE LA CALIDAD	**ALFONSO VICTOR SACCO** FRANCO BOBBIO MANDOLINO
15:30 - 15:50	CO24-B28	RECUPERACIÓN DE LITIO Y COBALTO DE BATERÍAS DE ION – LITIO DE APARATOS ELECTRÓNICOS	**ALEJANDRA MARÍA DE LOS RÍOS** MARISA ALEJANDRA MORAIS DANIEL RODOLFO LEIVA ALFREDO AMATO CARLA ANABELLA DEL PUERTO
15:50 - 16:10	CO24-E05	EVALUACIÓN DEL NIVEL DE ACEPTACIÓN OPERATIVO Y PRODUCTIVIDAD EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BICICLETAS	**FABIO ODETTO** NAHUEL JOSÉ ROCCHIA JAVIER FERNANDO FORNARI
16:10 - 16:30	CO24-D06	INNOVACIÓN PREDICTIVA EN LA INDUSTRIA LÁCTEA: TRANSFORMANDO LA CALIDAD DE LA LECHE EN POLVO A TRAVÉS DE TÉCNICAS DE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO	**FABIO MARCELO ODETTO** EDUARDO MONIER JAVIER FERNANDO FORNARI
16:30 - 16:50	CO24-D03	CARACTERIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN LÁCTEA A TRAVÉS DE ANÁLISIS DE DATOS DE PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE LECHE EN TAMBOS	**JAVIER FERNANDO FORNARI** SHEILA JORGELINA FAVOLE FABIO MARCELO ODETTO
16:50 - 17:10	CO24-D04	CARACTERIZACIÓN DE LA INDUSTRIA EN RAFAELA MEDIANTE EL ANÁLISIS DE DATOS DEL NIVEL DE ADOPCIÓN Y USO DE TECNOLOGÍAS	**JAVIER FERNANDO FORNARI** YANNINA CORAZZA MAIA JAZMIN ZIMERMAN FABIO MARCELO ODETTO
17:10 - 17:30	CO24-D05	IDENTIFICACIÓN Y PREDICCIÓN DE FACTORES DE BAJA DE CLIENTES MEDIANTE ANÁLISIS DE DATOS EN UNA EMPRESA DE TELECOMUNICACIONES	**JAVIER FERNANDO FORNARI** GUILLERMO CASSINA FABIO MARCELO ODETTO

JUEVES
31/10

AULA 91			
HORARIO	**CODIGO**	**TITULO**	**AUTOR**
14:30 - 14:50	CO24-D10	INDUSTRIA 5.0: EMPRESAS INTELIGENTES EN EL CAMINO DE LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL SOSTENIBLE Y CENTRADA EN LAS PERSONAS	**ZANFRILLO ALICIA INÉS** OSCAR ANTONIO MORCELLA LUCIANA BELEN TABONE VERONICA AIDA MORTARA GUILLERMO ADRIAN CARRIZO
14:50 - 15:10	CO24-F23	LA EMPATÍA Y LAS COMPETENCIAS SOCIALES EN LA FORMACIÓN DEL INGENIERO INDUSTRIAL	**D´ONOFRIO MARÍA VICTORIA** OSCAR ANTONIO MORCELLA
15:10 - 15:30	CO24-E02	TRANSFORMACIÓN DIGITAL Y MEJORA DE PROCESOS EN COMERCIO ELECTRÓNICO: CASO DE ESTUDIO EN UNA PYME DE MAR DEL PLATA	**BAUTISTA GENDE** MANUEL FERNANDEZ MONTERO MARIELA BEATRIZ AMBRUSTOLO MERCEDES CABUT
15:30 - 15:50	CO24-E04	SISTEMA DE MONITOREO DE MOTORES ELÉCTRICOS MONOFÁSICOS DE CA CON ARDUINO UNO E INTERFAZ WEB	**PATRICIO GONZALEZ VIESCAS** JUAN CRUZ MECHULÁN SARDELLA MARTINA DURALY JERONIMO BLAZQUES ANGELICA CONALBI
15:50 - 16:10	CO24-C03	UNA METAHEURÍSTICA BIOBJETIVO APLICADA A UN PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULOS PARA OPTIMIZAR LOS TIEMPOS DE VIAJE Y LA COMPACIDAD DE LAS RUTAS	**FERNAN RODRÍGUEZ ROBLES** DIEGO GABRIEL ROSSIT ADRIAN ANDRES TONCOVICH
16:10 - 16:30	CO24-C09	DISTRIBUCIÓN EN PLANTA 4.0	**FERNANDO MAILLMANN** LEOPOLDO DE BERNARDEZ
16:30 - 16:50	CO24-F05	EL PERFIL DEL INGENIERO INDUSTRIAL EN LA ERA DIGITAL: UN ANÁLISIS DE LAS COMPETENCIAS NECESARIAS PARA DESARROLLARSE DENTRO DE LA INDUSTRIA 4.0.	**MÓNICA CECILIA GÓMEZ** ENRIQUE NAHUEL DESCHUTTER NAZARENO NICOLAS COCCI OLEA FACUNDO MANUEL JARA
16:50 - 17:10	CO24-F06	EXPERIENCIA INTERFACULTADES PARA LA FORMACIÓN POR COMPETENCIAS UTILIZANDO JUEGOS SERIOS	**MARÍA LAURA GALLEGOS** MARCELO FERNANDO CINALLI VANESA BETIANA HETZE CARLOS ADRIAN VECCHI
17:10 - 17:30	CO24-F07	COMPETENCIAS Y CARACTERIZACIÓN DOCENTE: GESTIÓN PARA LA FORMACIÓN DE INGENIEROS	**MARÍA LAURA GALLEGOS** MARIA LILIANA CERRANO MARCELO FERNANDO CINALLI NORA DANIELA GOMEZ

JUEVES
31/10

AULA 92			
HORARIO	**CODIGO**	**TITULO**	**AUTOR**
14:30 - 14:50	CO24-E10	ANÁLISIS DE LA BRECHA ENTRE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LOS PROCESOS DE UN TAMBO Y LO REQUERIDO EN UNA EMPRESA 4.0	**VANESA BANGERT** EMILCE FABA CAMILA FONTANA
14:50 - 15:10	CO24-D11	DE LA TRADICIÓN A LA TRANSFORMACIÓN: TECNOLOGÍAS 4.0 EN LA LOGÍSTICA ARGENTINA	**JUAN CRUZ GRADIN** MARGARITA SOTTOSANTO
15:10 - 15:30	CO24-F17	EL CAPITAL CULTURAL QUE APORTA LA ADQUISICIÓN DE UNA LENGUA EXTRANJERA A LOS FUTUROS INGENIEROS INDUSTRIALES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE: "LOS HEREDEROS".	**VALLEJOS BLANCO, MARIA JUANA**
15:30 - 15:50	CO24-B06	TRABAJO FINAL EVALUACIÓN DE CARGA TÉRMICA SEGÚN LEY N° 19587/72 Y SU DECRETO REGLAMENTARIO N° 351/79	**JOSÉ MARTÍN GLAVAS**
15:50 - 16:10	CO24-B07	ANÁLISIS DE RIESGOS EN LOS PROCESOS: REVISIONANDO LA METODOLOGÍA BOW TIE	**EDUARDO REY** SERGIO CORTESE
16:10 - 16:30	CO24-B09	RECICLAJE DE PLÁSTICOS Y ALUMINIO: INNOVACIONES EN LA TECNOLOGÍA DE MATERIALES Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA PARA LA INDUSTRIA 5.0	**JOSÉ SEBASTIÁN BARRERA** LEANDRO MIRACCA SANTIAGO IGNACIO SOLARI ROSARIO SANCHEZ GRANEL GASTON NICOLAS FORTIN
16:30 - 16:50	CO24-F16	DESAFÍOS EN LA FORMACIÓN DE INGENIEROS INDUSTRIALES EN LOS ALBORES DE LA INDUSTRIA 5.0	**MIGUEL BENEGAS** JORGE CAMBLONG
16:50 - 17:10	CO24-F22	POR QUÉ FORMAR EN EL SABER EN LAS CARRERAS DE INGENIERIA INDUSTRIAL Y CÓMO HACERLO	**MENDIZABAL FEDERICO** ALEJANDRO VAQUER
17:10 - 17:30	CO24-F27	SIMULACIÓN NUMÉRICA DEL ENSAYO DE TRACCIÓN SIMPLE Y SU USO COMO COMPLEMENTO EN LA FORMACIÓN POR COMPETENCIAS EN CARRERAS DE INGENIERÍA	**CLAUDIO ARIEL CAREGLIO** PABLO SEBASTIÁN DE SIMONE MAURICIO ALBERTO CASAROTTO CARLOS MAURICIO ALVAREZ EDUARDO BRINGA

VIERNES
01/11

AUDITORIO 1			
HORARIO	**CODIGO**	**TITULO**	**AUTOR**
14:30 - 14:50	CO24-C10	APLICACIÓN DEL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO (AHP) PARA LA SELECCIÓN DE PROVEEDORES NACIONALES DEL SECTOR AERONÁUTICO	**DEMIÁN ANDRÉS TAVELLA** ARIEL MIROPOLSKY ROXANA MANERA
14:50 - 15:10	CO24-C07	MODELO DE REDUCCIÓN DE COSTOS OCULTOS DE LA MALA CALIDAD POR TÉCNICA DE CONTRASTE DE COSTOS VARIABLES	**ANTONELLA SOLEDAD CAVACINI** LUCIANA VICTORIA NOGUERA ALFONSO VICTOR SACCO
15:10 - 15:30	CO24-C06	ÚLTIMA MILLA LOGÍSTICA EN LA CADENA DE SUMINISTRO DE PRODUCTOS FRESCOS FRUTIHORTÍCOLAS	**MARÍA BETINA BERARDI** ADOLFO ONAINE
15:30 - 15:50	CO24-C12	EVALUACIÓN DE LA RESILIENCIA EN CADENAS DE SUMINISTRO DE PYMES	**CLAUDIA NOEMÍ ZÁRATE** ALEJANDRO MARÍA ESTEBAN MARIA BETINA BERARDI
15:50 - 16:10	CO24-C08	PROPUESTA DE SISTEMA DE MEJORA CONTINUA EN UNA EMPRESA DEL RUBRO TEXTIL	**MARÍA AGUSTINA CIRILLO** MARTINA ALEJANDRA MIGUELES MARIA VELIA ARTIGAS
16:10 - 16:30	CO24-A02	IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS DE UN PROGRAMA DE MEJORA CONTINUA EN UNA INSTITUCIÓN DE SALUD	**MARIELA BEATRIZ AMBRÚSTOLO** MARTINA ALEJANDRA MIGUELES MARIA VELIA ARTIGAS
16:30 - 16:50	CO24-A04	VALUACIÓN DE EMPRESAS: ASPECTOS PARTICULARES DE LAS NUEVAS EMPRESAS TECNOLÓGICAS	**ROMINA EVELIN COUSELO** EDUARDO ARIEL WILLIAMS MANUELA MERCEDES PENDON
16:50 - 17:10	CO24-A08	ANÁLISIS CUANTITATIVO DE DIFERENCIAS DE NECESIDADES OPERATIVAS DE FONDOS Y CAPITAL DE TRABAJO	**IVO OTTAVIANO** LEONEL ALEJANDRO ZALAZAR
17:10 - 17:30	CO24-A11	DESARROLLO DEL PERSONAL PARA LA SOSTENIBILIDAD ORGANIZACIONAL	**ZABALA FERNANDO CRISTIAN** ANA JULIA ACHÉ MICHELLA SOL LATTIANO

VIERNES
01/11

AUDITORIO 2			
HORARIO	**CODIGO**	**TITULO**	**AUTOR**
14:30 - 14:50	CO24-B01	PIROLISIS DE NEUMATICOS	**PATRICIO GONZALEZ VIESCAS** ANDRES FABIAN IANARDI FLORENCIA EICHLER SEBASTIAN MENDOZA FABRIZIO GIMENEZ
14:50 - 15:10	CO24-B02	TRANSPORTE DE CARGA EN ARGENTINA: BENEFICIOS DEL CAMBIO A GNC	**INGRID SABRINA GERSTNER** SANTIAGO VALLEJOS FACUNDO OOSTDYK
15:10 - 15:30	CO24-B15	POSIBILIDADES DE REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN LA FABRICACIÓN DE CEMENTO EN ARGENTINA	**AGUSTINA BONINI** SANTIAGO MARIA REYNA
15:30 - 15:50	CO24-B16	ESTRATEGIA DE EVALUACIÓN POR SIMULACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DE INCORPORACIÓN DE ESQUEMAS DE MULTI-MICRORREDES ELÉCTRICAS EN LAS POLÍTICAS DE CONSUMO INDUSTRIAL	**CARLOS MARÍA CHEZZI** ARIEL LOYARTE
15:50 - 16:10	CO24-B19	LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS COMO FUENTE DE ENERGÍA	**JORGE MACHALEC** ANDRES DEVOUASSOUX
16:10 - 16:30	CO24-B24	BUENAS PRÁCTICAS AMBIENTALES EN LA INDUSTRIA METALMECÁNICA: GESTIÓN DE VIRUTAS Y FLUIDOS DE CORTE	**JAVIER MERETTA** LAURA BARBARO TOMAS GARCIA ABRIL AMORI
16:30 - 16:50	CO24-B25	ANÁLISIS PRELIMINAR DE REFUNCIONALIZACIÓN DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS EN LA PROVINCIA DE CÓRDOBA	**PAULA LORENA BONILLO** SANTIAGO MARIA REYNA VALENTINA BARTOLI RIOS LUIS GIOVINE TERESA MARIA REYNA
16:50 - 17:10	CO24-B26	IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN CULTIVOS ENERGÉTICOS: ANÁLISIS HIDROMETEOROLÓGICO EN CÓRDOBA, ARGENTINA	**AGOSTINA LIDIA MORELLO** SANTIAGO MARIA REYNA FABIAN ANDRES FULGINITI PAULA LORENA BONILLO
17:10 - 17:30	CO24-B27	ANÁLISIS DE VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN UN CAPS DE YERBA BUENA	**LEANOARDO CORAN** SOL PETERSEN MARIA DELFINA RICO SUCAR MARIA JOSE VALERO HORACIO SANTIAGO MENDEZ

VIERNES
01/11

AULA 91			
HORARIO	**CODIGO**	**TITULO**	**AUTOR**
14:30 - 14:50	CO24-F04	DIAGRAMA ANIMADO DEL VAPOR DE AGUA. TEMPERATURA ENTROPÍA DEL H2O	**EDGARDO MARCELO TURCHETTI** JUAN SEBASTIÁN BARRERA MAGDALENA ALSINA
14:50 - 15:10	CO24-F08	IMPORTANCIA DEL DESARROLLO DE HABILIDADES BLANDAS EN LA SEGURIDAD E HIGIENE LABORAL	**YANINA HOLLMAN** JUAN ALBERTO PELLICER EMILIANO BALDINO
15:10 - 15:30	CO24-F10	""ESTUDIO DE UN PROCESO DE COMPRESIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AIRE HÚMEDO CON UN SOFTWARE DE CÓDIGO ABIERTO Y GRATUITO"	**JUAN MONTESANO** LAURA ANTONIUK DIEGO GARCIA
15:30 - 15:50	CO24-F12	RELEVAMIENTO DEL CONTEXTO Y PARTES INTERESADAS DE LA INGENIERÍA INDUSTRIAL EN LA IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO E-BLENDED	**BLANCA ROSA CARRIZO** JORGE ABET MARIA LAURA GALLEGOS MARCELO FERNANDO CINALLI
15:50 - 16:10	CO24-A06	DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÉTODO PARA LA ELABORACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE UN PROGRAMA DE PRODUCCIÓN. CASO DE ANÁLISIS	**BONAIUTTI RICARDO** PATINO MACARENA JOSE CARRIZO GINO RUBIOLO
16:10 - 16:30	CO24-A07	ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN MODELO DE VINCULACIÓN ENTRE LAS UNIVERSIDADES Y EL MEDIO PRODUCTIVO DE LA REGIÓN CENTRO	**BLANCA ROSA CARRIZO** JORGE ABET MARIA LAURA GALLEGOS MARCELO FERNANDO CINALLI PATINO MACARENA
16:30 - 16:50	CO24-B22	DESAFÍOS PRESENTES Y OPORTUNIDADES FUTURAS DE LA GOBERNABILIDAD AMBIENTAL: PASAPORTE DEL PRODUCTO EN LA UE Y LAS ECOETIQUETAS	**BEATRIZ DEL VALLE KUNDA** BLANCA ROSA CARRIZO CONSTANZA CAROLINA CAMINOS
16:50 - 17:10	CO24-B21	CONSUMO RESIDENCIAL SOSTENIBLE: EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL, BARRERAS Y OPORTUNIDADES DE MEJORA	**VALERIA KARINA MORENO** JAVIER ALFARANO MARIANO FREYTES FLORENCIA LUQUE VAZQUEZ NICOLAS MONASTEROLO
17:10 - 17:30	CO24-E07	ANÁLISIS Y DISENO DEL DESARROLLO DE PROTOTIPOS PARA OBTENER MÉTRICAS DE CALIDAD REUTILIZABLES EN OTROS MODELOS	**BLANCA ROSA CARRIZO** JORGE ABET MARCELO ARCIDIACONO SOFIA ENAMORADO

VIERNES
01/11

AULA 92			
HORARIO	**CODIGO**	**TITULO**	**AUTOR**
14:30 - 14:50	CO24-E03	LA FIABILIDAD COMO HERRAMIENTA DE DIGITALIZACIÓN EN MÁQUINAS Y EQUIPOS.	**OMAR DARÍO GASPAROTTI**
14:50 - 15:10	CO24-F14	UN HACKATHON PARA LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN LA INGENIERÍA. ESTUDIO DE CASO	**LEANDRO JAVIER FLORES** EDUARDO BRUNO DERISIO ALEJANDRA IVANA GARCIA
15:10 - 15:30	CO24-F20	DETERMINACIÓN DEL COSTO DE CAPITAL EN ECONOMÍAS EMERGENTES: UN ENFOQUE PARA LA ASIGNATURA PROYECTOS DE INGENIERÍA	**ANABELLA KARINA GEI** ALEJANDRA IVANA GARCIA LEANDRO JAVIER FLORES LETICIA MARISOL RAPONI ANALIA PEPE
15:30 - 15:50	CO24-B31	EXPERIENCIAS EN LA EVALUACION COMPARATIVA DE LA EFICIENCIA ENERGETICA DE VIVIENDAS CON DIFERENTES SISTEMAS CONSTRUCTIVOS MEDIANTE EL APLICATIVO INFORMATICO	**GUSTAVO ALEJANDRO DAS NEVES** MARCELO RAFAEL GIL JOSE MACCARONE YANNET VALENCIA AROTINCO
15:50 - 16:10	CO24-B29	BRIQUETAS DE BIOMASA, UNA EXPERIENCIA EN TERRITORIO	**MOISÉS EVARISTO BUENO** MARIA ROS DOS REI

CoINI 2024
UTN·La Plata
XVII CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y AFINES

Ponencias presentadas

A – Organizaciones y Economía 19

B – Ambiente y Sostenibilidad 114

C – Operaciones y Logística 380

D – Industrias del Conocimiento 492

E – Productos e Innovación 604

F – Educación en la Ingeniería Industrial 671

A – Organizaciones y Economía

"ANÁLISIS DE LA ENCUESTA SOBRE ESTUDIO ERGONÓMICO DEL MOBILIARIO EDUCATIVO EN UTN SANTA FE"

Tucci, Víctor; Faba, Emilce; Scardanzan, Luciano; Rodríguez, Ma. Elvira

Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional
vtucci@frsf.utn.edu.ar; efaba@frsf.utn.edu.ar; lscardanzan@frsf.utn.edu.ar; mrodriguez@frsf.utn.edu.ar

RESUMEN

En el marco de un proyecto que busca determinar los aspectos ergonómicos que influyen en la incomodidad de estudiantes en las aulas universitarias de la ciudad de Santa Fe, se realizó una encuesta a la población de estudiantes de la UTN Santa Fe. El objeto fue relevar las medidas antropométricas básicas, definir las características del mobiliario educativo y conocer la percepción de los alumnos en cuanto al confort del mobiliario que utilizan cuando cursan.
En una publicación previa se detalló la implementación de la citada encuesta y se expresaron los primeros resultados a nivel general en cuanto a caracterización de las y los estudiantes, descripción del mobiliario y análisis del confort general.
En este trabajo se pretende profundizar en el análisis de la información recabada a partir de los indicadores obtenidos en la primera publicación. Se pretende encontrar relaciones más específicas entre las distintas variables, que contribuyan y orienten la propuesta de proyectos de mejora destinados a la reducción de la fatiga e incremento del confort del estudiantado en un mediano plazo. El resultado, además servirá de insumo para rediseñar mobiliario educativo contemplado en este proyecto.

Palabras Claves: ergonomía, confort, medidas antropométricas, mobiliario educativo.

ABSTRACT

Within the framework of a project that seeks to determine the ergonomic aspects that influence student discomfort in university classrooms in the city of Santa Fe, a survey was carried out among the student population of the UTN Santa Fe. The purpose was to survey the basic anthropometric measurements, to define the characteristics of educational furniture and to know the students' perception of the comfort of the furniture they use while studying.
In a previous publication, the implementation of the survey was detailed and the first results were expressed at a general level in terms of characterization of the students, description of the furniture and analysis of general comfort.
This paper aims to deepen the analysis of the information collected from the indicators obtained in the first publication. The aim is to find more specific relationships between the different variables, which will contribute to and guide the proposal of improvement projects aimed at reducing fatigue and increasing student comfort in the medium term. The result will also serve as input for redesigning the educational furniture contemplated in this project.

Keywords: ergonomics, comfort, anthropometric measurements, educational furniture

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo forma parte de un PID UTN denominado “Desajuste ergonómico entre la antropometría de los estudiantes y el mobiliario de las aulas universitarias de la ciudad de Santa Fe”, cuyo objetivo general es evaluar los desajustes entre las medidas antropométricas de los alumnos universitarios de la ciudad de Santa Fe y el mobiliario educativo existente, y es continuación de una publicación previa del equipo de trabajo (Tucci et al., 2024) donde se propuso determinar los aspectos ergonómicos que influyen en la incomodidad de estudiantes en el aula universitaria de la UTN Santa Fe y conocer las medidas antropométricas de dicha población.

Partiendo de la idea que un conjunto de datos de investigación es toda aquella información recolectada, observada o creada con el propósito de crear resultados de investigación originales, se considera la técnica de la encuesta como procedimiento de investigación, ya que permite obtener y analizar datos de manera rápida y eficaz.

Se define a la encuesta como “una investigación realizada sobre una muestra de sujetos representativa de un colectivo más amplio, que se lleva a cabo en el contexto de la vida cotidiana, utilizando procedimientos estandarizados de interrogación, con el fin de obtener mediciones cuantitativas de una gran variedad de características objetivas y subjetivas de la población (García Ferrando, 1993).

Un mobiliario inadecuado imposibilita el desarrollo de una actividad en forma favorable, ya que la incomodidad, en este caso de estudiantes y docentes, es una variable que impacta negativamente en el ámbito del aula.

La mala postura vinculada con el uso de mesas y sillas y el diseño de los muebles, contribuyen al desarrollo de trastornos musculoesqueléticos (Lueder y Rice, 2007, Kaspiris et al., 2010). El estudio de este problema se presenta como una constante a lo largo del tiempo y en diferentes países.

Se han desarrollado investigaciones con el objetivo de conocer aspectos ergonómicos y proponer condiciones más favorables en el diseño del aula universitaria, para ello se estudia a una población universitaria con el fin de conocer si las medidas antropométricas guardan relación con el mobiliario existente (Párraga y García, 2014). Otro estudio se realizó con el objeto de detectar la percepción de los estudiantes respecto a la comodidad del mobiliario y las molestias físicas durante las clases en el aula (Carvajal Villamizar y Cacua Barreto, 2017). En Turquía se llevaron a cabo mediciones antropométricas en estudiantes y en el mobiliario de la universidad, pudiendo detectar los desajustes entre dichas medidas (Kahya, 2019).

En base a estos antecedentes y, considerando las necesidades detectadas en la UTN Santa Fe, se propone continuar este estudio en pos de obtener la información necesaria para la generación de propuestas de mejora que reduzcan la fatiga y aumenten el confort en el aula.

2. OBJETIVOS Y ABORDAJE METODOLÓGICO

Considerando el objetivo del proyecto de investigación mencionado en la introducción, este trabajo representa una segunda etapa en la investigación y contempla un análisis pormenorizado de los primeros datos obtenidos en la encuesta aplicada en la UTN Santa Fe. Se puede observar una copia del instrumento elaborado para recabar la información en el siguiente enlace: https://forms.office.com/r/BdEUETPVC1.

2.1. Objetivos

Los objetivos de este trabajo son: buscar, analizar y precisar relaciones entre “las medidas antropométricas de la población de estudiantes en la UTN Santa Fe y las características del mobiliario educativo” con “la percepción de ésta en cuanto al confort y las molestias que les genera el mobiliario que utilizan cuando cursan en esta Facultad”. Luego, en base a esta información, “proporcionar lineamientos para el diseño y/o selección del mobiliario que contribuya a mejorar la sensación de confort de los alumnos para diferentes escalas antropométricas”.

2.2. Metodología

A fin de lograr los objetivos planteados, se toma como punto de partida los resultados obtenidos en una publicación previa (Tucci et al., 2024), referentes a: caracterización antropométrica de los estudiantes, caracterización del mobiliario, análisis del confort general, nivel de comodidad con relación a la altura y peso del individuo, nivel de comodidad según el tipo de mobiliario y mapa de molestias según zonas del cuerpo. Se plantea en este trabajo, realizar un análisis estratificando y correlacionando las distintas variables, en la búsqueda de obtener como resultado; indicadores que apunten a situaciones particulares de confort por fuera de las características antropométricas promedio.

Se cree que, a partir de estos datos primarios que se obtuvieron con el desarrollo de la encuesta, se obtendrán nuevos gráficos con los datos analizados, que serán de ayuda para la obtención de información útil, para la futura toma de decisiones y nuevas conclusiones más acabadas.
Para este fin, con los resultados de la encuesta se crea una matriz de datos donde queda registrada la información de los alumnos, para cada una de las preguntas del cuestionario. De esta manera, se procederá a un proceso de revisión y depuración de los datos, con el objetivo de evaluar (y si es posible aumentar) la calidad de la información obtenida (Vidal Díaz de Rada, 2009).

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos de los análisis llevados a cabo con la metodología planteada ut supra, y se ordenan según las correlaciones definidas para las distintas variables consideradas.
Por un tema de espacio, en esta publicación sólo se mencionan los resultados más destacados obtenidos a lo largo del análisis realizado para este trabajo, haciendo hincapié preferentemente en los datos de mayor impacto de incomodidad y molestias.
Cabe aclarar que, de aquí en adelante, cuando se menciona el mobiliario silla-mesa independiente se hace referencia a las opciones 1, 2 y 3; y cuando se menciona al mobiliario integrado se hace referencia a las opciones 4, 5 y 6 que se pueden apreciar en la Figura 1.



Figura 1 – Mobiliario relevado y habilitado para seleccionar

3.1. Nivel de incomodidad con relación a la altura del Individuo y el tipo de mobiliario

En esta sección se correlaciona la altura de los individuos con el tipo de mobiliario, divididos en las opciones “silla-mesa independientes” y “pupitre integrado”, en los que se encontraban sentados al momento de realizar la encuesta.
De (Tucci et al., 2024) se obtuvo que 30,17 % de los encuestados tenía una altura entre 1,80 y 2,00 m, (de ahora en más: los más altos) y el 69,83 % entre 1,50 y 1,79 m (de ahora en más: los más bajos).

3.1.1. Nivel de incomodidad del 30,17 % más alto

En la Figura 2 se puede apreciar que el 66 % de los estudiantes más altos se encuentran incómodos o muy incómodos.

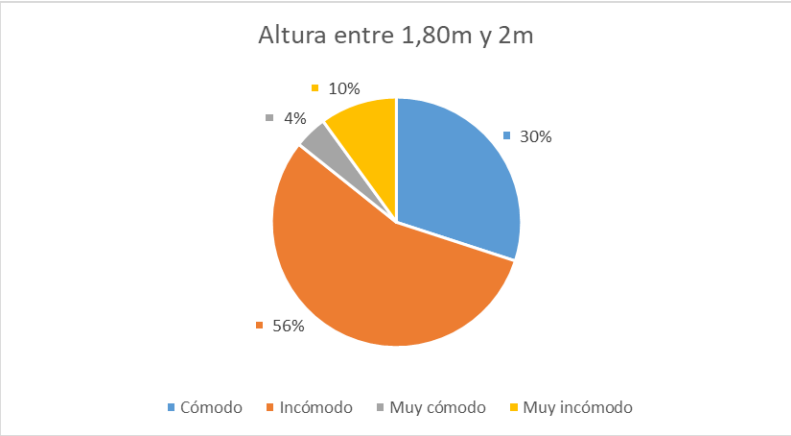


Figura 2 – Nivel de comodidad para los más altos

3.1.2. Nivel de incomodidad del 69,83 % más bajo

En la Figura 3 se puede ver que el 51 % de los individuos más bajos se encuentran incómodos o muy incómodos. Si bien en un menor porcentaje que los más altos, estos también presentan un considerable nivel de incomodidad.

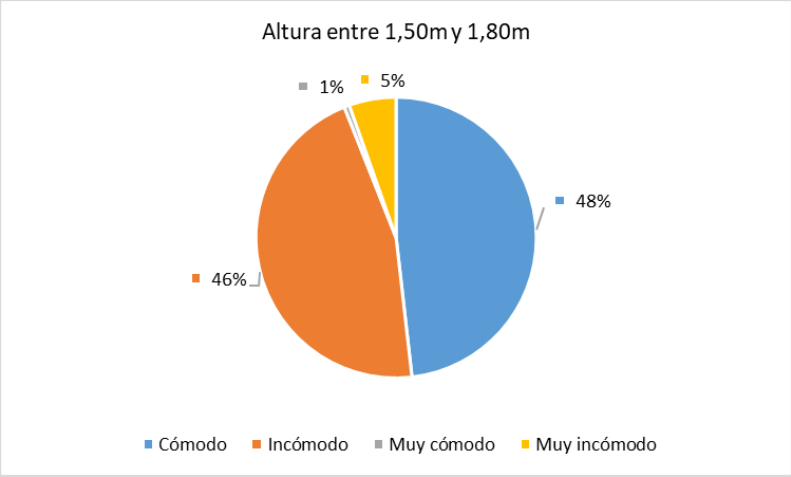


Figura 3 – Nivel de comodidad para los más bajos

3.1.3. Nivel de incomodidad de los más altos con relación al conjunto silla-mesa independientes

En la Figura 4 se puede observar que de los 18 estudiantes más altos que se encontraban sentados en el conjunto silla-mesa independiente, el 61 % se sienten incómodos o muy incómodos.

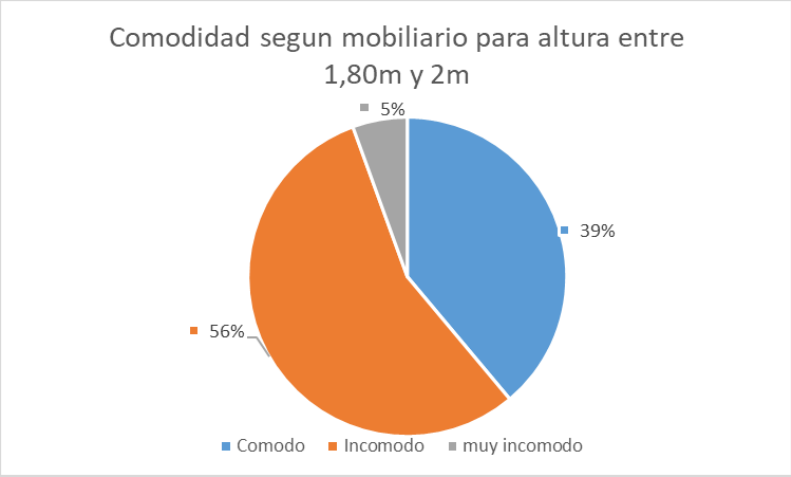


Figura 4 – Nivel de comodidad para los más altos en el conjunto silla-mesa independientes

3.1.4. Nivel de incomodidad de los más altos con relación al pupitre integrado

En la Figura 5 se puede apreciar que de los 50 estudiantes más altos que se encontraban sentados en pupitres integrados, el 70 % se sienten incómodos o muy incómodos. Sin dudas esta opción de mobiliario perjudica más la comodidad de los más altos frente al de silla-mesa independientes.

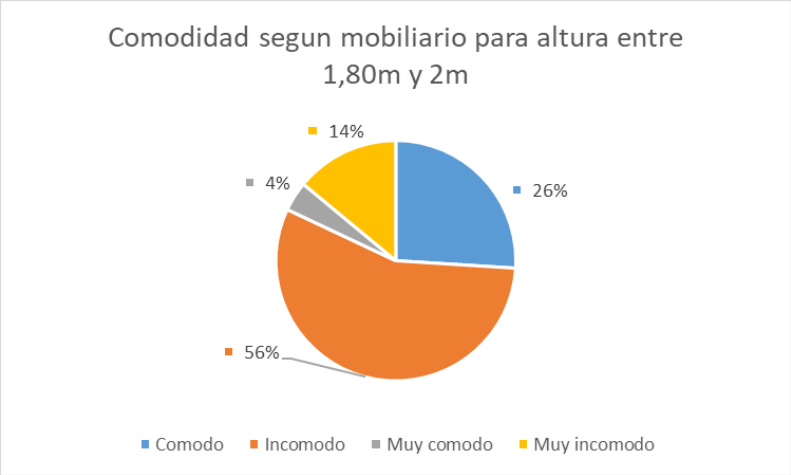


Figura 5 – Nivel de comodidad para los más altos en pupitre integrado

3.1.5. Nivel de incomodidad de los más bajos con relación al pupitre integrado

En la Figura 6 se puede apreciar que de los 119 estudiantes más bajos que se encontraban sentados en pupitres integrados, el 53 % se sienten incómodos o muy incómodos.

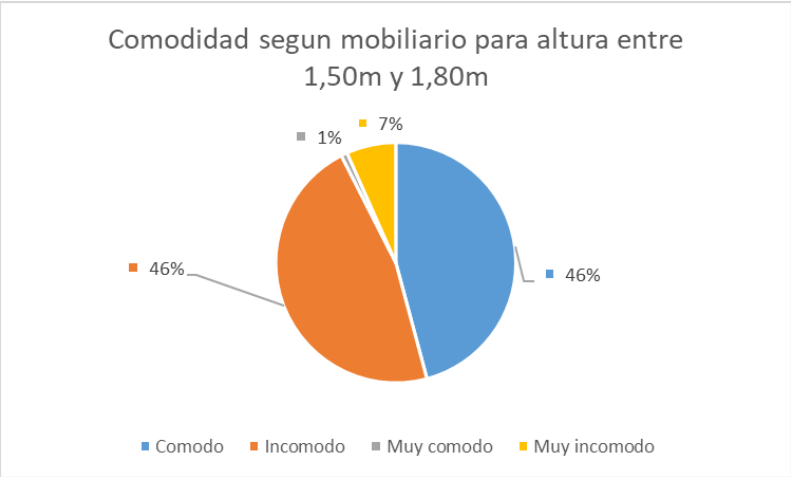


Figura 6 – Nivel de comodidad para los más bajos en pupitre integrado

3.2. Nivel de incomodidad con relación al peso del individuo y tipo de mobiliario

En esta sección se correlaciona el peso de los individuos con el tipo de mobiliario, divididos en las opciones “silla-mesa independientes” y “pupitre integrado”, en los que se encontraban sentados al momento de realizar la encuesta

De (Tucci et al., 2024) se obtuvo que el 8,62 % de los encuestados tenía un peso mayor a 90 kg, (de ahora en más: los más pesados) y el 91,38 % entre 50 y 90 kg (de ahora en más: los más livianos).

3.2.1. Nivel de incomodidad del 8,62 % más pesado

En la Figura 7 se puede apreciar que el 81 % de los estudiantes más pesados se encuentran incómodos o muy incómodos.

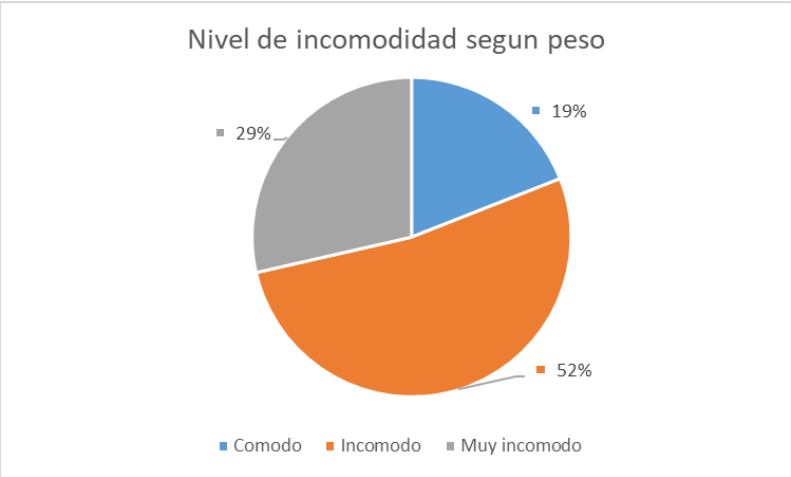


Figura 7 – Nivel de comodidad para los más pesados

3.2.2. Nivel de incomodidad del 91,38 % más liviano

En la Figura 8 se puede ver que el 53 % de los individuos más livianos se encuentran incómodos o muy incómodos. Si bien en un porcentaje considerablemente menor que los más pesados, estos también presentan un importante nivel de incomodidad.

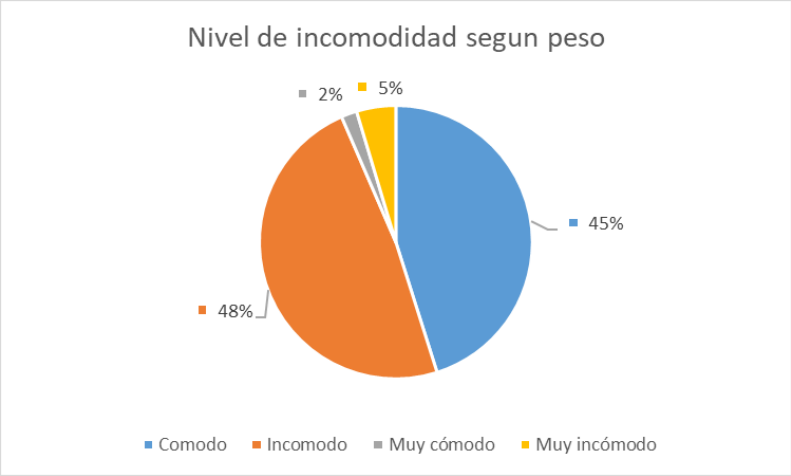


Figura 8 – Nivel de comodidad para los más livianos

3.2.3. Nivel de incomodidad de los más pesados con relación al conjunto silla-mesa independientes

En la Figura 9 se observa que de los 8 estudiantes más pesados que se encontraban sentados en el conjunto silla-mesa independiente, el 78 % se sienten incómodos o muy incómodos. Por su parte, el nivel de incomodidad de los que se encontraban sentados en pupitre integrado apenas superaba el 40 %.

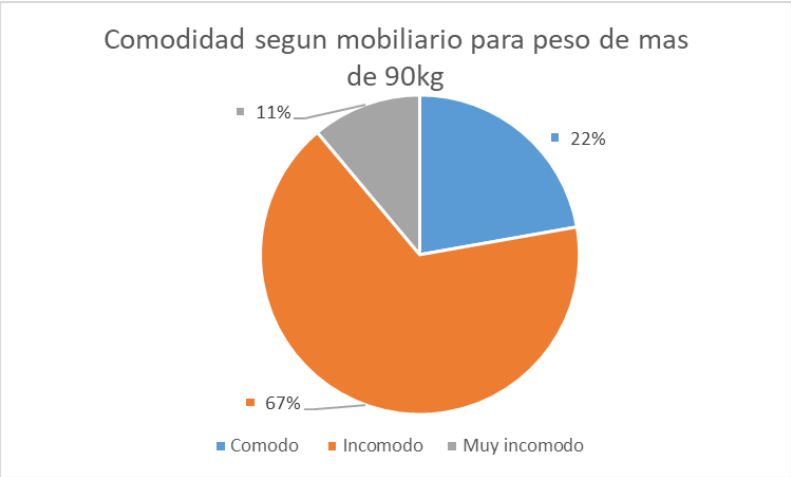


Figura 9 – Nivel de comodidad para los más pesados en el conjunto silla-mesa independientes

3.2.4. Nivel de incomodidad de los más livianos con relación al pupitre integrado

En la Figura 10 se puede apreciar que de los 151 estudiantes más livianos que se encontraban sentados en pupitres integrados, el 56 % se siente incómodo o muy incómodo. Por contrapartida, el nivel de incomodidad para los que se encontraban sentados en silla-mesa independientes, no alcazaba el 39%.

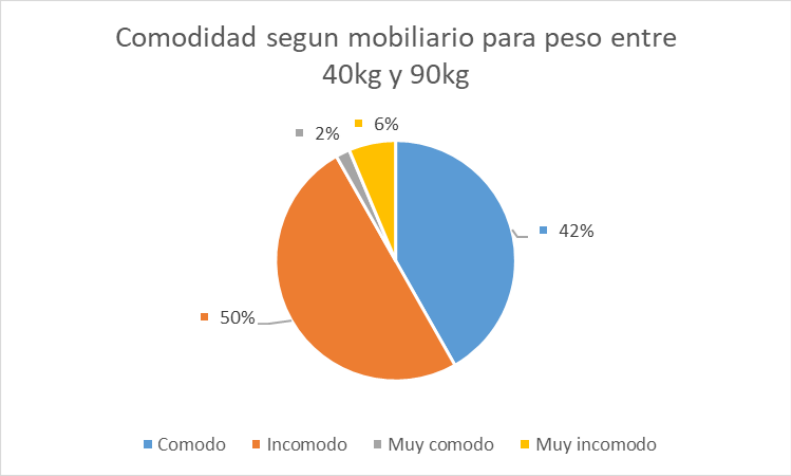


Figura 10 – Nivel de comodidad para los más livianos en pupitre integrado

3.3. Nivel de molestias con relación a la zona del cuerpo, altura del individuo y tipo de mobiliario

En esta sección se correlacionan la altura de los individuos, las zonas del cuerpo que pueden generar molestias y las dos versiones del tipo de mobiliario ya mencionadas.

En (Tucci et al., 2024) se puede observar el mapa de molestias según zonas del cuerpo aplicado a la encuesta ya referida anteriormente.

3.3.1. Nivel de molestias de los más altos con relación a la zona lumbar

En la Figura 11 se observa que, de los 70 estudiantes más altos, el 67 % siente en la zona lumbar una molestia moderada o elevada o extrema.

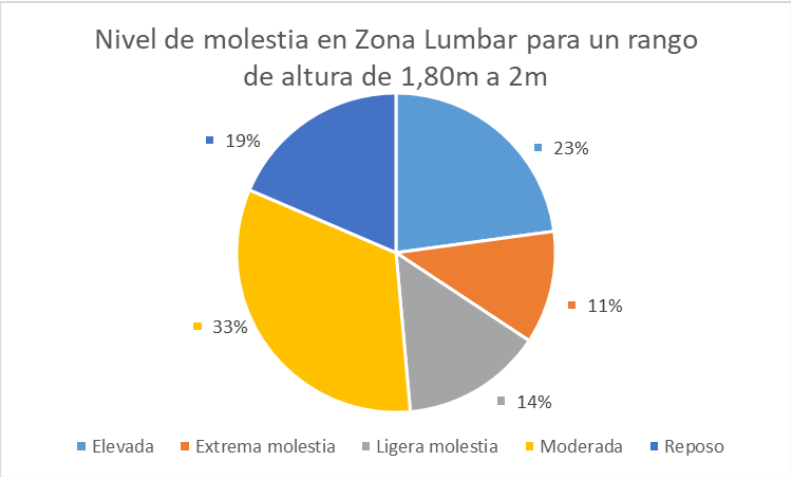


Figura 11 – Nivel de molestias para los más altos con relación a la zona lumbar

Al estratificar este 67 %, un 21 % se encontraba sentado en silla-mesa independientes y el 79 % en pupitre integrado.

3.3.2. Nivel de molestias de los más bajos con relación a la zona lumbar

En la Figura 12 se observa que, de los 162 estudiantes más bajos, el 54 % siente una molestia moderada o elevada o extrema. Si bien en un menor porcentaje que para los más altos, estos también tienen una proporción importante de molestia en esta zona.

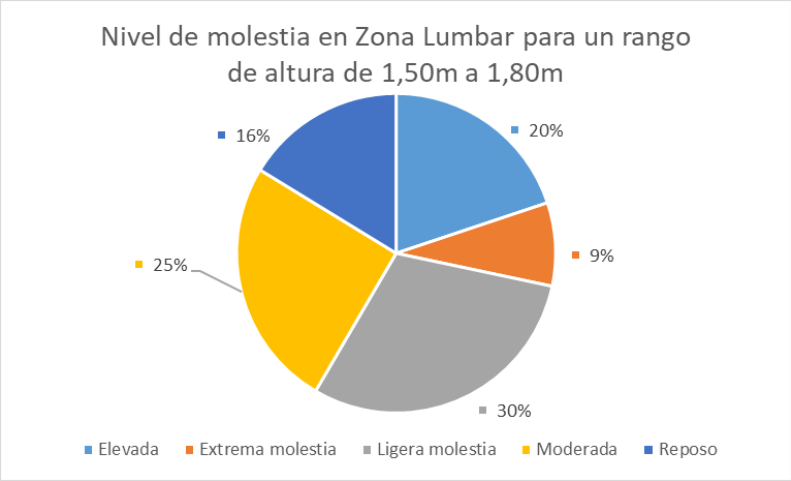


Figura 12 – Nivel de molestias para los más bajos con relación a la zona lumbar

Al estratificar ese 54 %, un 24 % se encontraban sentados en silla-mesa independientes y el 76 % en pupitre integrado.

3.4. Nivel de molestias con relación a la zona del cuerpo, peso del individuo y tipo de mobiliario

En esta sección se correlacionan el peso de los individuos, las zonas del cuerpo que pueden generar molestias y las dos versiones del tipo de mobiliario ya mencionadas.

3.4.1. Nivel de molestias de los más pesados con relación a la zona lumbar

En la Figura 13 se observa que, de los 20 estudiantes más pesados, el 76 % siente una molestia moderada o elevada o extrema.

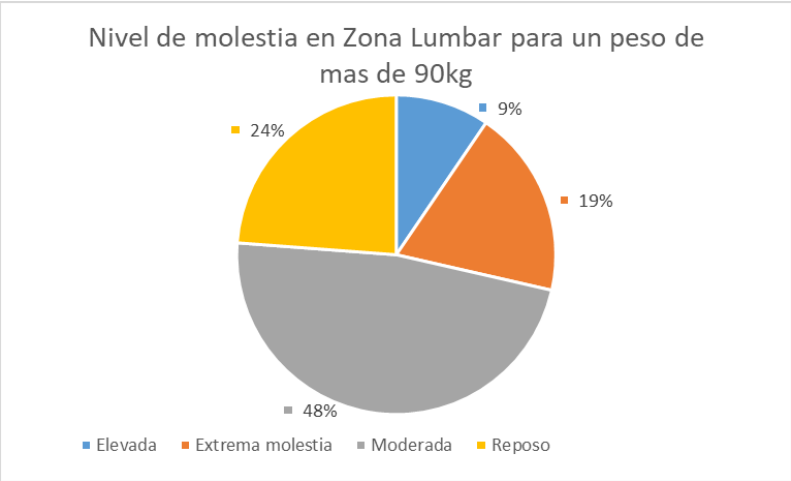


Figura 13 – Nivel de molestias para los más pesados con relación a la zona lumbar

Al estratificar ese 76 %, un 40 % se encontraba sentado en silla-mesa independientes y el 60 % en pupitre integrado.

3.4.2. Nivel de molestias de los más pesados con relación a la zona de nalgas

En la Figura 14 se observa que, de los 20 estudiantes más pesados, el 67 % siente una molestia moderada o elevada o extrema.

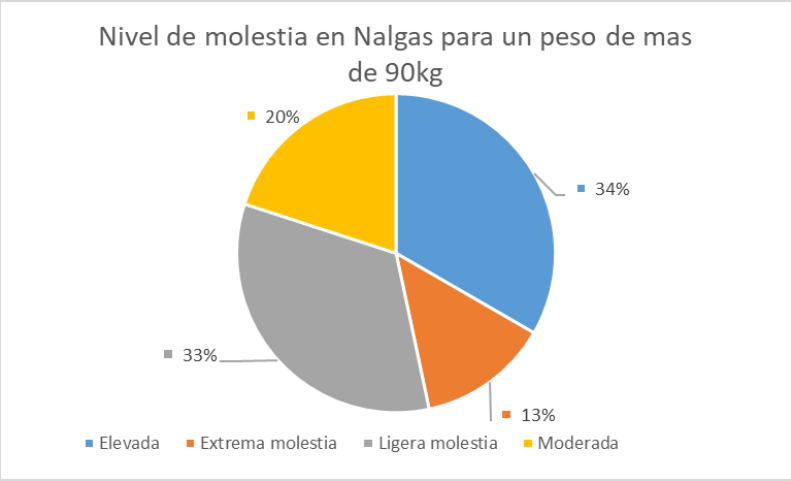


Figura 14 – Nivel de molestias para los más pesados con relación a la zona nalgas

Al estratificar ese 67 %, un 40 % se encontraban sentados en silla-mesa independientes y el 60 % en pupitre integrado.

3.4.3. Nivel de molestias de los más livianos con relación a la zona lumbar

En la Figura 15 se observa que, de los 212 estudiantes más livianos, el 67 % siente una molestia moderada o elevada o extrema en la zona lumbar.

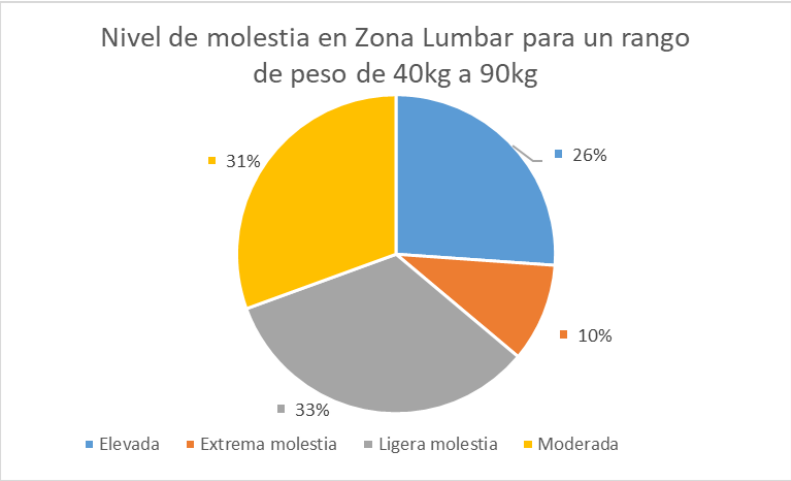


Figura 15 – Nivel de molestias para los más livianos con relación a la zona lumbar

Al estratificar ese 67 %, un 22 % se encontraban sentados en silla-mesa independientes y el 78 % en pupitre integrado.

3.5. Nivel de incomodidad con relación a la altura de la mesa del mobiliario, altura del individuo y tipo de mobiliario

En esta sección se correlacionan la altura de los individuos, la altura de la mesa y las dos versiones del tipo de mobiliario ya mencionadas.

3.5.1. Nivel de incomodidad de los más altos con relación a la altura de la mesa del conjunto silla-mesa independiente

En la Figura 16 se observa que, el 78 % de los estudiantes que estaban sentados en el conjunto silla-mesa independiente, consideran que la mesa es demasiado baja.

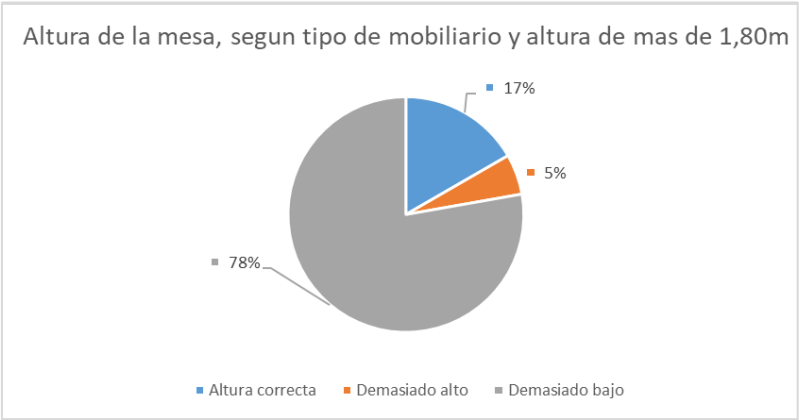


Figura 16 – Cómo consideran los más altos la altura de la mesa del conjunto silla-mesa independientes

3.5.2. Nivel de incomodidad de los más altos con relación al pupitre integrado

En la Figura 17 se puede apreciar que el 82 % de los estudiantes que estaban sentados en pupitres integrados, consideran que la mesa es demasiado baja. Los estudiantes más altos expresan incomodidad por ser la mesa demasiado baja, con proporciones similares para ambos tipos de mobiliarios. Por otro lado, para ambos mobiliarios; el nivel de incomodidad para los más bajos se encuentra alrededor del 40 %.

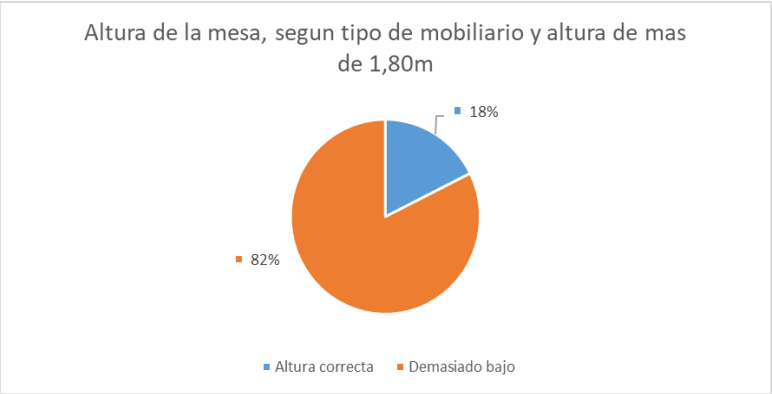


Figura 17 – Cómo consideran los más altos la altura de la mesa del pupitre integrado

3.6. Nivel de incomodidad con relación al ancho del asiento del mobiliario, peso del individuo y tipo de mobiliario

En esta sección se correlacionan el peso de los individuos, el ancho del asiento y las dos versiones del tipo de mobiliario ya mencionadas.

3.6.1. Nivel de incomodidad de los más pesados con relación a la anchura de la silla del pupitre integrado

En la Figura 18 se puede apreciar que el 75 % de los estudiantes que estaban sentados en el pupitre integrado consideran que la anchura de la silla es demasiada estrecha. Se destaca que la proporción de individuos incómodos es bastante más importante con respecto a los que estaban sentados en las silla-mesa independientes.

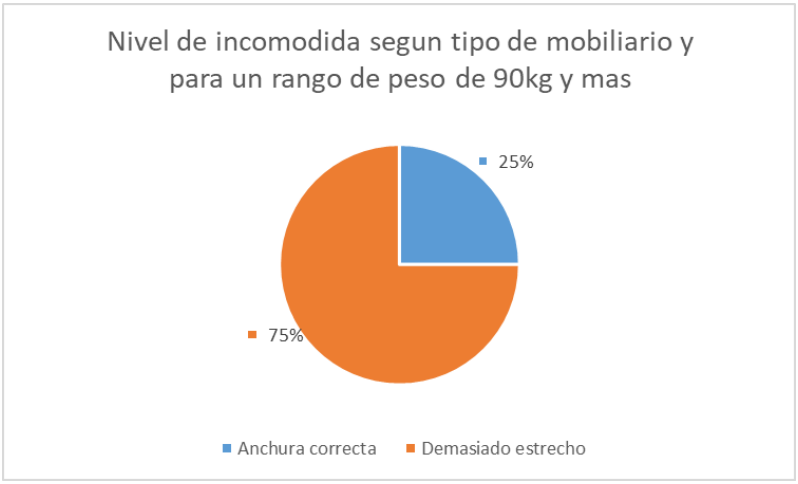


Figura 18 – Cómo consideran los más pesados la anchura de la silla del pupitre integrado

4. CONCLUSIONES

De los resultados alcanzados estratificando y correlacionando las distintas variables obtenidas de la encuesta aplicada a los estudiantes, se evidencia como más relevante por su mayor impacto lo siguiente:

- Un gran porcentaje de los estudiantes más altos reflejan un alto nivel de incomodidad en general, y cuando se correlaciona ésta con el tipo de mobiliario, resulta superior para los que se encontraban sentados en pupitres integrados frente a los sentados en el conjunto silla-mesa independientes, al momento de la encuesta.
- También y casi en su totalidad, los estudiantes más pesados expresan un alto nivel de incomodidad en general y cuando se correlaciona esta variable con el tipo de mobiliario, resulta muy superior para los que ocupaban el conjunto silla-mesa independientes.
- Tanto los estudiantes más altos como los más pesados reflejaban una molestia alta en la zona lumbar del cuerpo. Tanto para el conjunto silla-mesa independientes como para el pupitre integrado.

- Por su parte los alumnos más altos en su gran mayoría consideran que la altura de la mesa del mobiliario les resulta demasiado baja en proporciones semejantes para ambas versiones del mobiliario.
- Para una amplia mayoría de los estudiantes más pesados, el ancho del asiento les resulta muy estrecho para el pupitre integrado.

Esta información servirá de insumo para la definición de las variables a analizar y las ecuaciones de desajuste que se utilizarán para comparar las características de la población de estudiantes de la UTN Santa Fe y del mobiliario educativo presente en las aulas, en una actividad que se está llevando en paralelo en el marco del proyecto de investigación ya mencionado.
También hará su aporte para continuar trabajando en el relevamiento de medidas antropométricas con el fin de obtener valores concretos que permitan calcular los desajustes entre el estudiantado y el mobiliario existente, estableciendo parámetros para el diseño de sillas y bancos que apunten a minimizar la incomodidad y las molestias. Habilitará focalizar por caso, a individuos con alturas y pesos extremos, abriendo la posibilidad de diseñar o adquirir mobiliario para grupos singulares, por fuera del mobiliario promedio que difícilmente pueda satisfacer a toda la población.

5. REFERENCIAS

Carvajal Villamizar, H., Cacua Barreto, L. (2017). Estudio ergonómico del mobiliario de las aulas Uniminuto, Cúcuta. Revista Virtual de Ciencias Sociales y Humanas “Psicoespacios”. file:///C:/Users/mrodriguez/Downloads/Dialnet-EstudioErgonomicoDelMobiliarioDeLasAulasUniminutoC-5893102.pdf

García M, Ibáñez J, Alvira F. (1993). El análisis de la realidad social. Métodos y técnicas de investigación. Madrid: Alianza Universidad Textos. 141-70

Kahya, E. (2019). Mismatch between classroom and anthropometric measures of university students / Intenational Journal of Industrial Ergonomics 74. Eskisehir Osmangazi University, Engineering and Architecture Faculty, Department of Industrial Engineering, Eskisehir, Turkey. https://doi.org/10.1016/j.ergon.2019.102864.

Kaspiris, A., Grivas, T. B., Zafiropoulou, C., Vasiliadis, E., & Tsadira, O. (2010). Nonspecific low back pain during childhood: a retrospective epidemiological study of risk factors. JCR: Journal of Clinical Rheumatology, 16(2), 55-60.

Lueder, R., & Rice, V.J.B. (Eds.). (2007). Ergonomics for Children: Designing products and places for toddler to teens (1st ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9780203609163

Párraga Velásquez, R.; García Zapata, T. (2014). Diseño ergonómico de aulas universitarias que permitan optimizar el confort y reducir la fatiga de estudiantes y docentes. Industrial Data, vol. 17, núm. 2, pp. 7-16. Universidad Nacional Mayor de San Marcos Lima, Perú. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81640856002

Parvez, M. S.; Rahman, A.; Tasnim, N. (2019). Ergonomic mismatch between student's anthropometry and university classroom furniture / Theoretical Issues in Ergonomics Science. University of Engineering & Technology, Khulna, Bangladesh. https://doi.org/10.1080/1463922X.2019.1617909

Repositorio Institucional CONICET Digital
https://datosdeinvestigacion.conicet.gov.ar/ayuda/que-son-y-que-no-son-los-datos-de-investigacion/

Tucci, Víctor; Scardanzan, Luciano; Faba, Emilce; Rodríguez, Ma. Elvira; Alvarez, Gabriela (2024). Estudio ergonómico del mobiliario educativo en UTN Santa Fe. *XVI COINI 2023 – Congreso Internacional de Ingeniería Industrial*. San Nicolás, Argentina.

Vidal Díaz de Rada (2009). Análisis de datos de encuesta. Editorial UOC. Barcelona.
https://books.google.com.ar/books?id=xk7l9MCJZFsC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Agradecimientos
Los autores de este trabajo desean agradecer a Lucio Segura, por sus aportes para la realización de la presente publicación.

"IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS DE UN PROGRAMA DE MEJORA CONTINUA EN UNA INSTITUCIÓN DE SALUD"

Ambrústolo Mariela Beatriz, Migueles Marina Alejandra, Berardi María Betina

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata.
Juan B. Justo 4302 - B7608FDQ Mar del Plata.
ambrus@fi.mdp.edu.ar

RESUMEN

Los programas de mejora continua en organizaciones de salud son esenciales para la calidad de la atención al paciente, incrementan la eficiencia operativa y reducen costos. Este trabajo presenta resultados parciales de un proyecto de investigación sobre la implementación de un programa de mejora continua en una institución de salud. La metodología empleada es un estudio de casos dividido en cuatro etapas. En la primera etapa, se analizan métodos y enfoques utilizados mediante observación directa y análisis. En la segunda etapa, se realizan encuestas semi-estructuradas a los integrantes de los equipos para explorar sus experiencias. La tercera etapa incluye entrevistas con actores clave para profundizar en la implementación, seguimiento y sostenibilidad del programa. Finalmente, en la cuarta etapa, se evalúa la madurez y efectividad del programa mediante la triangulación de múltiples fuentes. Los resultados preliminares de las primeras dos etapas indican que, aunque el programa es incipiente, ha mejorado en cantidad de proyectos y participación de los integrantes. Se destaca la integración de diversas temáticas y la interacción de diferentes procesos. Además, se ha logrado una mayor satisfacción y compromiso del personal, contribuyendo a la sostenibilidad y competitividad de la institución, promoviendo un entorno de trabajo colaborativo y resiliente que impacta positivamente en los estándares de atención.

Palabras Claves: Mejora continua, Metodologías, Eficiencia operativa, Atención al paciente, Salud

ABSTRACT

Continuous improvement programs in healthcare organizations are essential for the quality of patient care, increasing operational efficiency and reducing costs. This work presents partial results of a research project on the implementation of a continuous improvement program in a healthcare institution. The methodology employed is a case study divided into four stages. In the first stage, methods and approaches used are analyzed through direct observation and analysis. In the second stage, semi-structured surveys are conducted with team members to explore their experiences. The third stage includes interviews with key stakeholders to delve into the implementation, monitoring, and sustainability of the program. Finally, in the fourth stage, the maturity and effectiveness of the program are evaluated through the triangulation of multiple sources. Preliminary results from the first two stages indicate that, although the program is still in its early stages, there has been an improvement in the number of projects and team member participation. The integration of various topics and the interaction of different processes are highlighted. Additionally, there has been greater staff satisfaction and commitment, contributing to the sustainability and competitiveness of the institution, promoting a collaborative and resilient work environment that positively impacts care standards.

Keywords: Continuous improvement, Methodologies, Operational efficiency, Patient care, Health

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Importancia de la mejora continua en el ámbito de salud

La mejora continua se ha convertido en un pilar fundamental para las instituciones de salud que deben hacer frente a cambios continuos en sus procesos, avances tecnológicos y los requerimientos cambiantes de pacientes y usuarios. Proporcionar atención de calidad es un objetivo de la mayoría de las instituciones de salud ya que los valores éticos y profesionales brindan un marco de referencia para impulsar este desarrollo.

La mejora en la gestión sanitaria es una prioridad debido a que la atención de la salud es una parte importante de la sociedad. Para lograrlo, es necesario implementar modelos de atención profesional para fortalecer y mejorar los servicios de salud brindados a los pacientes implementando mejoras en la gestión hospitalaria a nivel institucional, fortaleciendo procesos en los diferentes componentes, desarrollando planes o proyectos de actividades para todo el sistema (Flores y Barbarán, 2021).

Un enfoque en la mejora continua también se centra en la experiencia del paciente. La retroalimentación constante de los pacientes y sus familias es crucial para identificar áreas de mejora y ajustar los procesos de atención a sus necesidades.

Este tema es crítico y complejo ya que influye directamente en la seguridad, eficacia y satisfacción del paciente, así como en la eficiencia interna de las instituciones de salud (Castro et al. 2016).

Monsalve Ospina y Calvo Ospina (2024) opinan que a pesar de los avances en la investigación y el desarrollo tecnológico persisten desafíos significativos que requieren atención y soluciones efectivas.

No sólo la optimización de los procesos principales sino también de procesos administrativos en el sector de la salud son relevantes por su impacto directo en la eficiencia operativa, la calidad de la atención al paciente y la sostenibilidad financiera de las instituciones sanitarias.

Medina (2021), indica que el enfoque en los procesos administrativos, en el ámbito de la salud, abarcan una amplia gama de actividades, e implican el contacto directo con el paciente. Dentro de los mismos se pueden incluir el primer contacto de acercamiento al centro asistencial, la gestión de citas y registros médicos, la facturación, el abastecimiento y el seguimiento de materiales y la capacitación y gestión del personal. Una optimización efectiva de estos procesos puede reducir costos operativos, una mayor transparencia en la gestión y una mejora en los tiempos de respuesta que sin duda se traduce en una atención más eficiente y oportuna para los pacientes.

La implementación de la mejora necesita de la concurrencia sinérgica de todos los niveles de responsabilidad, y de una sensibilización y formación básica para quienes desempeñarán servicios de salud, teniendo en cuenta la centralidad de la atención al paciente como el principal servicio, y que el liderazgo, entendimiento y práctica de su mejora reviste características específicas que pueden ser mejor realizadas si se cuenta con capacitación específica (Saturno-Hernández et al, 2015).

La mejora continua en la atención sanitaria se centra en la identificación y eliminación de procesos innecesarios, la reducción de errores, el aumento de la eficiencia y la optimización de los resultados para los pacientes respecto a la práctica y la experiencia en la atención médica.

Fomentar una cultura de mejora continua dentro de las organizaciones de salud implica involucrar a todos los empleados en el proceso. Esto no solo mejora la moral del personal, sino que también crea un entorno donde todos están comprometidos con la calidad y la seguridad del paciente.

1.2 Conceptualización de la mejora continua

La mejora continua o kaizen es un concepto desarrollado por el movimiento de la calidad en los años 50 en Japón en el [ámbito de la industria manufacturera y a partir de allí se ha extendido al occidente y a todo tipo de organizaciones no sólo productores de bienes sino también de servicios, organizaciones públicas e intermedias de la sociedad. De acuerdo con Imai (2001) KAIZEN significa mejoramiento continuo en la vida personal, familiar, social y de trabajo. Al aplicarlo a los lugares de trabajo, implica un mejoramiento continuo que involucra a todos (gerentes y trabajadores) por igual.

La mejora continua se puede definir como un proceso continuo, planificado, organizado y sistemático de cambio incremental (Garcia-Sabater, Marin-Garcia and Perello-Marin, 2012).

En la construcción de la mejora continua se pueden construir patrones en todas las organizaciones para proporcionar una ventaja operativa y eventualmente estratégica a través de un proceso de gradual de implementación que se basa en el desarrollo de rutinas, y la evolución de las capacidades. (Bessant, Caffyn and Gallagher, 2001)

El modelo evolutivo de comportamiento de la mejora continua, desarrollado por Bessant (1994) y su equipo se encuentra cumpliendo más de 20 años. Siendo uno de los más citados por aquellos investigadores que trabajan en esta temática. Ya que, si bien han surgido variantes a este modelo, “ninguna de esas propuestas alternativas parece haber gozado de la acogida académica que tiene este modelo” (Marin-Garcia, Bautista-Poveda and Garcia-Sabater, 2014).

Según este modelo, se puede asociar la evolución de la mejora continua a la adquisición de ciertas rutinas y habilidades agrupadas en ocho categorías (Bessant, Caffyn and Gallagher, 2001):

- Comprensión de la mejora continua, generando una creencia compartida del valor de su esencia evolutiva
- Apropiación metodológica para la aplicación formal de un proceso de resolución de problemas
- Vinculación de las acciones de mejora con los objetivos estratégicos
- Liderazgo en la creación y mantenimiento de recursos de mejora continua
- Consolidación de los valores de la mejora continua
- Cooperación intra-organizacional
- Gestión estratégica y sistemática de la mejora continua
- Capacidad generar y capturar aprendizajes

Este modelo estructura el proceso de implementación de la mejora continua en cinco niveles, etapas o capacidades (Bessant et al., 2001; Garcia-Sabater & Marin-Garcia, 2011) presentados en la Figura 1.

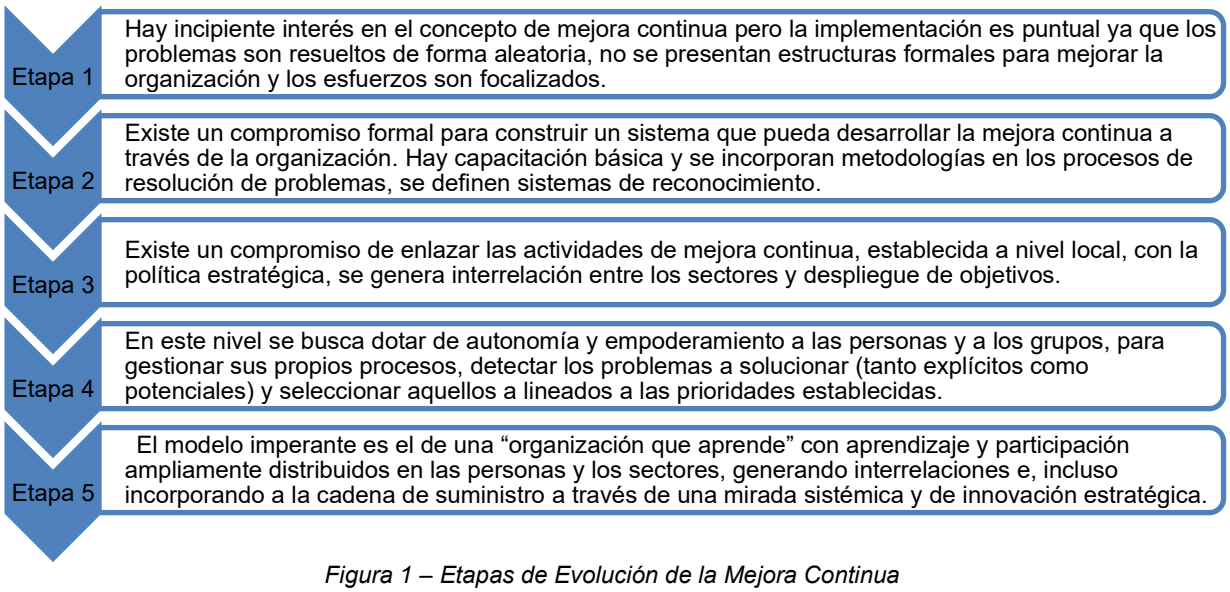


Figura 1 – Etapas de Evolución de la Mejora Continua

En este contexto Formento, (2015) menciona que los nueve factores claves para la mejora continua son: normalización y estructura, continuidad y duración, despliegue y alcance, entrenamiento y capacitación, compromiso de directivos, coordinación del programa, metodologías y herramientas, medición de resultados y comunicación, reconocimientos e incentivos en un contexto donde la mejora continua se sustenta en los pilares de un proyecto permanente, el trabajo en equipo y una metodología de trabajo.

Loper et al (2021) establecen como principios rectores que la mejora continua requiere de un proceso colaborativo generando asociaciones mutuamente beneficiosas y de apoyo para lograr los objetivos, impulsado por datos y mejoras, centrado en el impacto y la urgencia de la mejora de los usuarios, sensible a sus necesidades y riguroso ya que utiliza una metodología de mejora sistemática y basada en evidencias. Una definición objetiva del problema es una descripción basada en hechos, no en emociones u opiniones. Se trata de términos que son observables y medibles.

Por otra parte, Jurburg et al (2015) expresa que resulta muy interesante profundizar en el conocimiento acerca de las razones que motivan a las personas a participar en los sistemas de mejora continua de las empresas. Dentro de las más importantes puede identificarse la alineación de la mejora continua que permite alinear los objetivos personales a los organizacionales, el acceso a incentivos (aunque no necesariamente económicos), la mejora de la comunicación, apoyo del liderazgo, acceso a formación y metodologías, desarrollo de autoconfianza y empoderamiento, reconocimiento social y satisfacción laboral.

1.3 Características de los proyectos

La mejora continua se materializa y sostiene a partir de los proyectos de mejora desarrollado por los equipos que se comprometen. Es importante identificar las características fundamentales de los mismos para que el programa sea exitoso y se presentan en la tabla 1.

Tabla 1 – Características de los proyectos de grupos de mejora

Enfoque	Bessant, J. (1994). Principales beneficios reportados en la literatura son: reducción de costos, mejora de la eficiencia productiva, eliminación de desperdicios, un mayor compromiso de los trabajadores, aumento de la creatividad, aumento de la satisfacción de los empleados y mejora de los indicadores de gestión
Constitución de equipos	Formento (2015) establece que el agrupamiento ideal se encuentra entre 5 y 8 personas. Formento (2018) Para facilitar la modalidad de trabajo y cómo lograr el objetivo los equipos de mejora deberían contar con roles específicos como por ejemplo facilitador, líder, integrantes de equipos, mentores o sponsors, roles no formalizados como secretarios, invitados, entre otros.er, integrantes de equipos, mentores o sponsors, roles no formalizados como secretarios, invitados, entre otros. Un equipo de mejora trabaja con el objeto de mejorar los procesos o parámetros de los mismos a menudo integrando miembros con diferentes funciones Grutter et al (2002)
Tiempo de desarrollo	La duración de los proyectos de mejora en el contexto de kaizen puede variar dependiendo de varios factores, como la naturaleza del problema a resolver, la complejidad del proceso, y los recursos disponibles. Pero son Proyectos Cortos y Continuos. Cada ciclo puede durar desde unas pocas semanas hasta varios meses.
Metodología	Los grupos deben aplicar un método científico donde abordan problemas crónicos de forma planificada y sistemática, siguiendo el ciclo PDCA o PDSA, en lugar de depender del prueba y error con el fin de mejorar los procesos. (Formento, 2015) Es fundamental la identificación de la causa raíz ya que permite eliminar la causa de los problemas. Esto exige un enfoque riguroso, utilizando los datos disponibles y la experiencia del equipo para detectar las causas subyacentes del problema antes de proponer soluciones. Esto se realiza mediante un proceso estructurado y el uso de herramientas que permiten un diagnóstico preciso, lo cual facilita la búsqueda de soluciones pero requiere contar con capacitación adecuada. (Formento 2015). Los equipos de mejora se caracterizan por el uso de herramientas estadísticas para identificar, analizar y resolver problemas Grutter et al (2002)
Objetivos claros	El objetivo del equipo debe estar fijado de antemano y su cumplimiento fija el momento de finalización del proyecto y la disolución del equipo (Prado-Prado et al, 2004).
Centrado en datos	“Una definición objetiva del problema es una descripción basada en hechos, no en emociones u opiniones. Se trata de términos que son observables y medible”. El equipo debe analizar los datos, comparar resultados antes y después de la solución, y evaluar por qué se alcanzaron o no los resultados esperados (Formento, 2006).
Compromiso con el cambio	El compromiso con el cambio en kaizen debe ser un esfuerzo colectivo y sostenido que involucre a todos los niveles de la organización, apoyado por la alta dirección, fomentando su cultura, participación activa de empleados, comunicación abierta y reconocimiento de logros Imai (2012)
Recursos	Los proyectos kaizen que optimizan el uso de recursos naturales requieren datos y análisis, capacitación, tecnología, apoyo de la alta dirección, espacio para colaboración, bajos recursos económicos y el compromiso activo de los empleados Imai (2012)

Los factores considerados relevantes para el logro del compromiso organizacional son también importantes en la implementación de proyectos de mejora de acuerdo a Blanco et al (2022). Dentro de los más importantes pueden mencionarse la relación positiva entre líderes y colaboradores, los niveles de motivación interna, la implicación en el puesto de trabajo, la satisfacción laboral, la comunicación, el trabajo en equipo, la identidad con la organización y el Liderazgo.
El objetivo del presente trabajo es presentar los resultados parciales de un proyecto de investigación sobre un caso de estudio de implementación de un programa de mejora continua en una institución de salud con el objetivo de determinar qué factores aportan al éxito del programa y cuales deben continuar mejorándose.

2. METODOLOGÍA

La metodología empleada es un estudio de casos descriptivo que se ha planificado en cuatro etapas en el marco de investigación acción.
-Primera etapa: se desarrolló en dos momentos. En el primer momento se analizaron métodos, enfoques utilizados y resultados mediante una fuente primaria a través de una encuesta a líderes de proyectos de mejora presentados en los encuentros internos 2021 y 2022. La encuesta se desarrolló en google forms a todos los líderes de grupos de mejora durante octubre de 2023. A continuación, se desarrolló un Taller de evaluación con los mismos con el objetivo de desarrollar planes de acción que permita mejorar el Programa de Mejora Continua. La metodología seleccionada fue aplicación de una técnica “Open Space” para llevar a cabo reuniones en las que los participantes crean y gestionan la agenda por sí mismos. A partir de la muestra de resultados de la encuesta a sus líderes se desarrolla esta técnica con el fin de establecer planes y acciones de mejora. Cada grupo desarrolla un diagrama de afinidad con lo trabajado.
El segundo momento se desarrolló a inicios del año 2024 a través del análisis de una fuente secundaria como son los reportes A3 (formulario donde se plasma un problema, su análisis, las acciones correctivas y el plan de acción en una sola hoja DIN A3 con el uso de recursos visuales y gráficos). Los mismos fueron presentados en el encuentro interno desarrollado en 2023 y su evaluación a partir de una base de datos que incluyó aspectos referentes al desarrollo de los proyectos, formación del equipo, aspectos metodológicos y resultados como los factores más importantes.

- Segunda Etapa: En la misma se realizaron encuestas semi-estructuradas a los integrantes de los equipos que participaron desde el inicio de la formalización de los encuentros internos para explorar sus experiencias. La encuesta se desarrolló mediante Google Forms y se completó entre diciembre de 2023 y marzo de 2024. La encuesta abarcó diversos aspectos, como la formación de equipos, las metodologías utilizadas, los logros alcanzados, las ventajas y desventajas de las herramientas, las dificultades y experiencias positivas del proyecto, así como los factores motivacionales, entre otros.
-Tercera Etapa: La misma incluye entrevistas en profundidad con actores clave para profundizar aspectos de la implementación, seguimiento y sostenibilidad del programa de mejora continua. Dentro de los actores claves se pretende incluir al presidente, al director de la Institución, al responsable de RRHH y al coordinador del Programa de mejora. Asimismo, en un segundo momento se aplicará la misma base de datos de evaluación de reportes A3 con el fin de comparar las diferentes ediciones y poder evaluar si las acciones de mejora desarrolladas fueron efectivas.
-Cuarta Etapa: implica la triangulación de las múltiples fuentes con el objeto de determinar la madurez y efectividad del programa de mejora mediante modelos de evaluación.
En el presente trabajo se desarrollarán y describirán los resultados parciales que abordan la primera y segunda etapa.

3. DESARROLLO

La organización de salud que es objeto de estudio es un importante centro de salud del sur de la Provincia de Buenos Aires, cuyos valores se basan en la innovación, integridad, trabajo en equipo, vocación de servicio y desarrollo. En este contexto es que comienza su capacitación a partir de la participación de alguno de sus miembros en temáticas relacionadas con la calidad y mejora continua hace más de 10 años. Presentan su primer proyecto de grupos de mejora en el Encuentro Regional de Mejora Continua SAMECO “Mar y Sierras” 2017 comenzando tenuemente su camino a la mejora. A partir de allí participan en diferentes encuentros regionales y nacionales hasta que la generación de grupos y el involucramiento del personal de áreas de sectores de servicio y la decisión estratégica de la dirección, generan que se planifiquen los encuentros internos para presentación de trabajos en 2021. A partir de allí se planifican cada año que en 2023 se instala un evento semanal con estrategias de visibilización dentro de la institución y diversas actividades de puesta en común, concientización y capacitación. Es en este contexto de necesidad de planificación del crecimiento que el grupo de investigación interviene generando un diagnóstico y planificando acciones de intervención y trabajo en conjunto para el fortalecimiento y formalización del programa institucional.

3.1 Desarrollo de la Primera Etapa

3.1.1 Primer momento

En esta primera etapa se determinó la necesidad de evaluar y dar seguimiento a los proyectos presentados en los primeros encuentros internas desarrollados. Para ello, como se mencionó en la metodología, se desarrolló una encuesta a los líderes de los mismos con el objeto de evaluar las características de los proyectos, los resultados, su eficacia y la sustentabilidad de las acciones. Como puede observarse en la Figura 2 se presentaron 12 trabajos en el encuentro interno 2021 y 19 en el encuentro interno 2022, destacándose que, en el segundo año, el 47% de los mismos involucra la integración de dos o más sectores. En el gráfico de la derecha se puede observar la distribución de los sectores que han intervenido en los proyectos mencionados evidenciándose un gran aporte de trabajos de los servicios de apoyo.

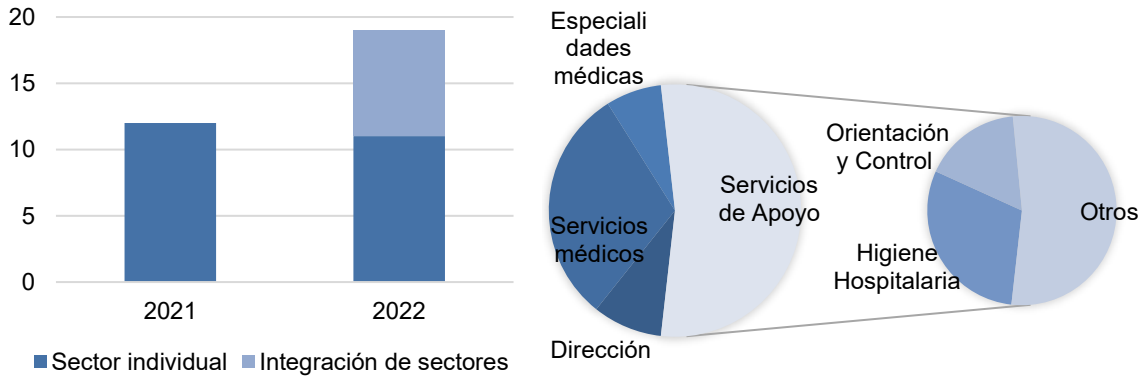


Figura 2 - Distribución de Trabajos y sectores involucrados los encuentros internos 2021 y 2022.

El hecho de que en el segundo año de formalización de los encuentros internos se presenten trabajos donde se aborden problemáticas que requieren un abordaje multisectorial implica un avance en la maduración del programa de mejora continua de acuerdo al modelo de evolución presentado en la Figura 1.
A partir del análisis de las 31 encuestas a los líderes se observan aspectos importantes a destacar, en el gráfico de la izquierda de la Figura 3 se muestra que el 65% desarrolló o amplió el plan de acción propuesto con un 47% de continuidad del equipo involucrado inicialmente como se observa en el gráfico derecho de la misma figura. Analizando la interacción de los participantes, sólo el 10% no valora el trabajo del grupo como uno de los factores del fortalecimiento del trabajo en equipo y detectaron poco apoyo de los jefes de los sectores de pertenencia. Esta situación demuestra una motivación y compromiso con la mejora continua y la metodología de participación.

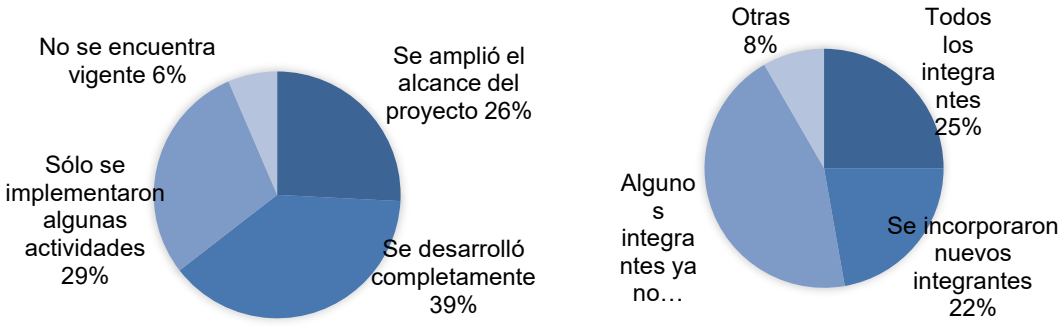


Figura 3 – Desarrollo del plan de acción y participación

Dentro de los factores que se establecieron como dificultades encontradas en el desarrollo del trabajo se destaca la falta de tiempo, de motivación y aspectos de continuidad de los equipos por reasignación o ausentismo de las personas como se observa en el Diagrama de Pareto mostrado en el lado izquierdo de la Figura 4.

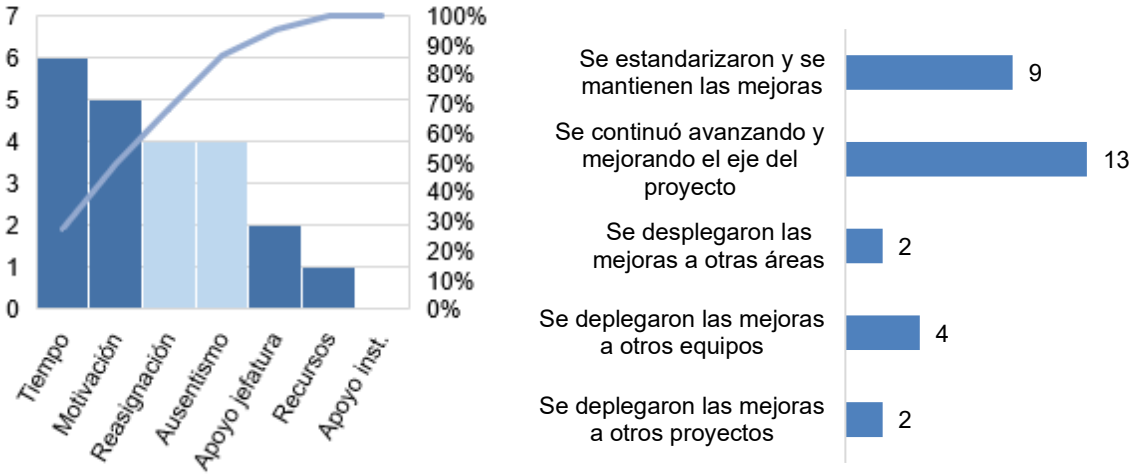


Figura 4 – Dificultades identificadas y nivel de aplicación de las mejoras

Respecto a las mejoras implementadas se puede observar un buen nivel de avance y mejora dentro del proyecto y su estandarización, mientras que no se observa una expansión horizontal ni vertical (gráfico derecho figura 4). Adicionalmente se observó en las encuestas que el 58% de los proyectos cumplieron parcialmente el objetivo y que en el análisis de la problemática el 55% establece que el problema resurgió total o parcialmente.
Los encuestados destacan como aspectos positivos del desarrollo de los proyectos la participación, mayor compromiso y compañerismo, interrelación entre colaboradores de distinto turno, el trabajo en equipo y colaborativo fortaleciendo la comunicación entre los servicios, motivación y buen clima laboral, enriquecimiento de experiencia, metodología multidisciplinaria y creación de sinergia.
A partir de estos resultados, se decidió generar un Taller de evaluación y reflexión sobre los proyectos, mediante una propuesta **"***Open space*" con el objeto de delinear planes de acción para las problemáticas identificadas. Se definieron cinco grupos generados en la actividad, abordando acciones

de trabajo en pro de mejorar el programa: falta de tiempo, falta de continuidad de colaboradores, falta de motivación, falta de capacitación integral y falta de medición.
Luego de este momento la institución replanteo mejoras en la convocatoria de trabajos y el seguimiento de los mismos, para ello se planificó un taller que mejorara la aplicación del reporte A3.

3.1.2 Segundo momento

Con el fin de profundizar el análisis de los grupos de mejora se analizaron los Reportes A3 de los 25 trabajos presentados en el encuentro interno 2023.
Respecto a la cantidad de Servicios que conformaron los diferentes grupos de mejora, como se observa del lado izquierdo de la figura 5 el 64% de los grupos están conformados por el mismo servicio, 24% de varios y el 12% de dos servicios. Se observó, en comparación con los encuentros anteriores, una disminución en la cantidad de servicios involucrados (47% en 2022), mientras que en 2023 solo el 36% de los equipos participaron integrando 2 servicios o más. En cuanto a la cantidad de integrantes de los grupos el 56% es menor a 3, el 36% de 3 a 5, el 4% de 9 a 12 y el 4% más de 12 personas (figura 5, lado derecho).

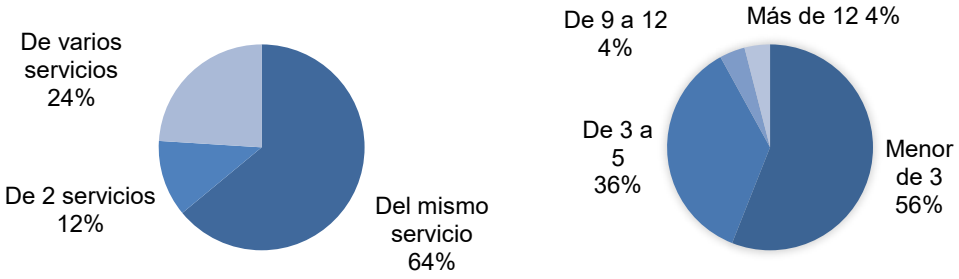


Figura 5 – Servicios que conforman los grupos y Cantidad de integrantes

Otro aspecto que se relevó son las temáticas abordadas en los proyectos donde en primer lugar se encuentra productividad y satisfacción al paciente en segundo lugar satisfacción del cliente interno y en tercer lugar calidad como se observa en la Figura 6. Lo que manifiesta un interés en el enfoque al paciente y la mejora de los procesos y sus interrelaciones destacando que hay proyectos que abordan varias temáticas.

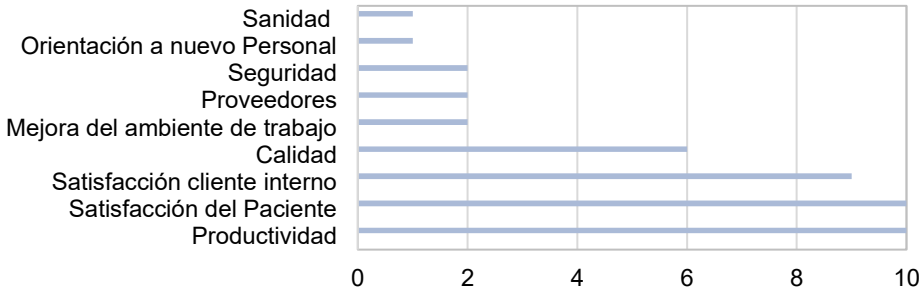


Figura 6 - Temáticas abordadas en los proyectos

A partir del análisis del grado en que se describe la situación inicial del problema, se observa en el izquierdo de la Figura 7 que la mayoría de los trabajos 44% describen la situación inicial del problema de mejora en un grado medio, seguido por bajo con 32%. Adicionalmente la figura 8 muestra que la mayoría (72%) no realiza mediciones de la situación inicial. Por lo tanto, solo una minoría describe la situación inicial de manera clara, y en gran medida sin una cuantificación lo que genera que luego el seguimiento y evaluación de las acciones sea más dificultosa.

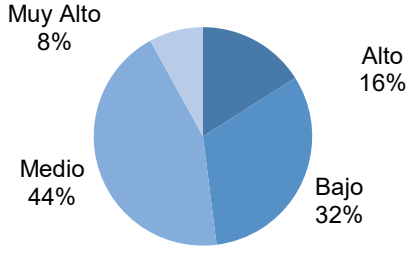


Figura 7: Grado descripción situación inicial

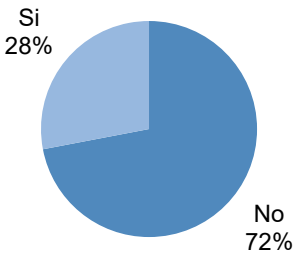


Figura 8 Mediciones de la situación inicial

En otro aspecto se analizó el grado en que definen objetivos SMART (Específicos, Medibles, Alcanzables, Realistas y de duración limitada). La mayoría de los proyectos (71%) definen el objetivo en bajo grado, lo que significa que carece de al menos dos criterios clave para ser objetivos SMART. Solo un proyecto define el objetivo correctamente 4% (grado alto), mientras que 21% lo hacen en grado medio, faltando un criterio, y uno, 4% no define ningún objetivo. Esto sugiere que, en general, hay dificultades para establecer objetivos SMART completos y claros en el proceso de mejora. Como consecuencia no se derivan indicadores de proceso cuantificables y medibles que permitan evaluar los proyectos.
Los proyectos de mejora estudiado describen en un 64% un bajo grado de desarrollo de aplicación de metodología de mejora continua, en un 20% en un grado medio, en un 12 % no describe y solo un 4% un alto grado como se muestra en la Figura 9. Así mismo del lado derecho de la figura se observa que aquellos trabajos que desarrollan metodología un 33,3% utiliza el PDCA, un 33,3% otra metodología acorde y el otro 33, 3 % no responde a las metodologías de MC

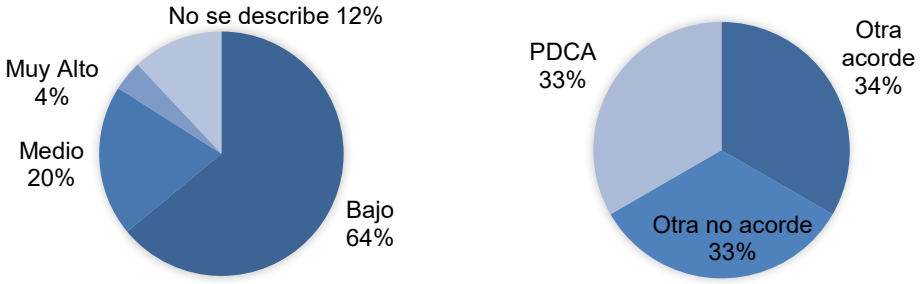


Figura 9 - Grado de desarrollo de metodología de Mejora Continua y caracterización

Es importante destacar que el 88% de los proyectos realizados no hace un estudio de procesos y que el 12% restante solo hace una descripción del proceso sin uso de herramientas acorde a la metodología. El uso de herramientas de calidad para definir y priorizar la problemática como Pareto, hojas de verificación, otros gráficos es otra cuestión ausente en los proyectos abordados.
Por otra parte, el 50% ha podido detectar la causa raíz del problema. Sin embargo, en cuanto a la descripción del plan el 54% lo hace en grado bajo y un 17% no lo describe.
En cuanto a los resultados y logros, el 73% de los proyectos se implementaron en su totalidad y el 27% de manera parcial. Así mismo en los proyectos presentados sólo el 48% realiza una comparación adecuada entre la situación inicial, resultado y objetivo-indicadores, un 44% describe testimonios como resultados y un 8% muestra mediciones actuales por no contar con mediciones previas.
Otra característica que se observa en los trabajos es que ninguno de ellos muestra resultados económicos. Factor importante para demostrar los costos evitados y el alineamiento con los intereses financieros de la organización.
En la redacción del Reporte A3, el 36% de los trabajos incluye lecciones aprendidas por parte del equipo, mientras que el 64% no las menciona, lo que sugiere que muchos equipos no perciben a esta reflexión como una actividad relevante al finalizar el proyecto. De manera similar, el 60% de los trabajos no presenta una reflexión sobre las dificultades e inconvenientes enfrentados durante el proyecto ni sobre la capacidad del equipo para resolverlos lo que ayudaría en futuros proyectos.

3.2 Desarrollo de la Segunda Etapa

De acuerdo a la población que se constituía por todos los colaboradores que participaron en los grupos de mejora, se invitó a participar y fueron respondidas 48 encuestas que representa un nivel de confianza del 90% con un 10% de error lo que nos permite un buen nivel descriptivo. Se muestran los resultados obtenidos a continuación.
Respecto a los servicios a los que están vinculados los participantes de los proyectos, se trata de una muestra representativa, no solo por su cantidad, sino también por la diversidad de servicios como se observa en la figura 10. A su vez que la mayoría de los participantes presentan una antigüedad menor a 10 años siendo aquellos con mayor antigüedad los líderes de los sectores.

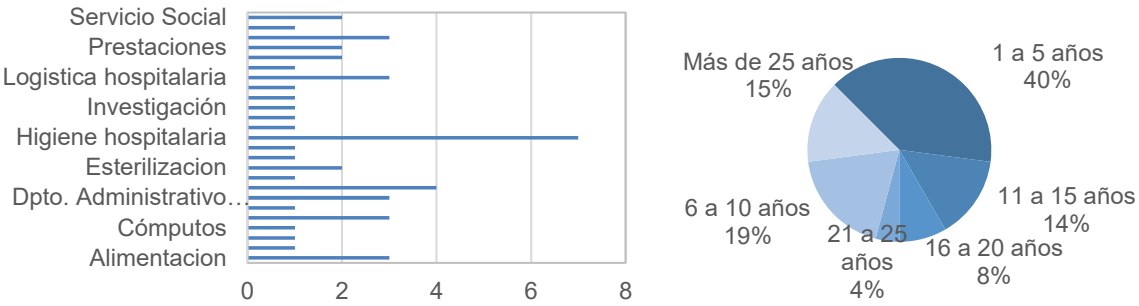


Figura 10 - Caracterización de los participantes entrevistados

Los roles de las personas en los equipos de trabajo que respondieron la encuesta fueron en un 54% integrantes, un 35% líderes de proyecto y un 11% facilitadores, la mayoría de ellos (54%) con una antigüedad de 2 y 3 años participando en proyectos de mejora. En este aspecto se observa que se ubicaron en los roles formales de los equipos de mejora en la encuesta sin embargo desde el seguimiento del proceso, no se observa una capacitación que permita esta identificación.
Asimismo, se observó que el 50% de los participantes encuestados fueron invitados a formar parte del equipo por el líder del proyecto en el último proyecto en el que participaron, mientras que el 38% se unió de manera voluntaria.
En la Figura 11 se identifican las temáticas abordadas en el último proyecto de mejora que participaron los encuestados. Se encontró en primer lugar proyectos relacionados con productividad, en segundo lugar, con calidad y tercer lugar con satisfacción del cliente interno.

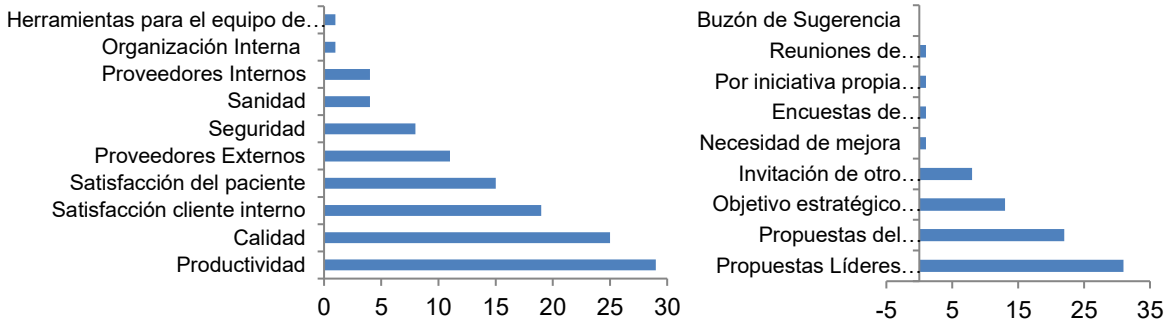


Figura 11 – Temáticas abordadas en los proyectos y origen de la elección de las mismas

La participación de las personas coincide con el análisis de los proyectos de los encuentros internos 2023 mostrados en Figura 6 en relación al primer aspecto evaluado, 'productividad', mientras que el resto de las temáticas muestra variaciones en sus posiciones dentro de los primeros cuatro lugares.
Respecto al origen de los temas, las personas que participaron en proyectos de mejora identifican que en primer lugar surgen de propuestas de líderes del sector, en segundo lugar, del personal y en tercer lugar de objetivos estratégicos de la dirección (*Figura 11 origen de la elección de las temáticas, imagen derecha).*
En la figura 12 se observa que los participantes manifiestan que el número de integrantes del último grupo de mejora en el que participaron fue de 3 a 5 personas en un 35%, menos de 3 en un 33%, de 9 a 12 en un 15% y un 4% más de 12 integrantes. En función del análisis de la evaluación de los proyectos presentados en los encuentros internos y de los encuestados que participaron en equipos de mejoras, se observa que los grupos pequeños menor a 3 y que incluyen en algunos casos 2 personas no es el esperado para la conformación de equipos de mejora continua.

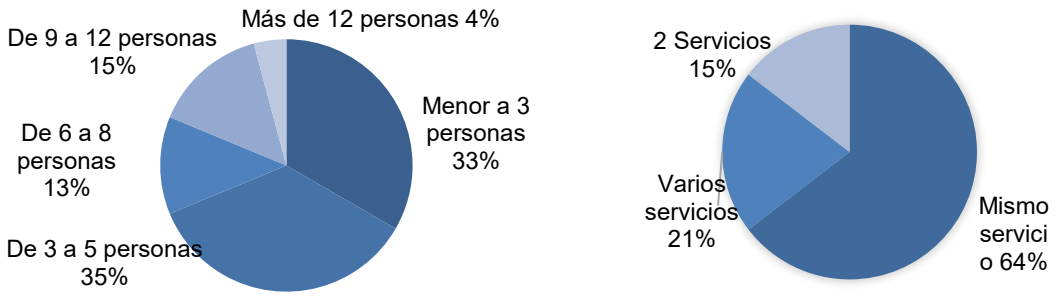


Figura 12 - Caracterización del último grupo de mejora en que participó

Por otra parte, se observa que los colaboradores identifican que su último proyecto lo desarrollaron en un 64.6% con personas del mismo servicio, 20.8% de varios servicios y 14.6% de 2 servicios porcentajes similares a los identificados en la primera etapa.
Otro aspecto relevado es la duración del último proyecto en la que participaron los encuestados identificándose que el tiempo fue de un 39.6% entre 1 a 3 meses, un 31.2% entre 4 a 6 meses, un 18,8% 7 a 12 meses y un 10.4% más 12 meses.
Respecto a la organización de las reuniones de los equipos, el 92% de los participantes señala que siempre o casi siempre se proporcionó el espacio (tiempo y lugar) necesario para trabajar en el proyecto. Por su parte un 67% de los participantes señalan que siempre o casi siempre fue en horario de trabajo y sólo un 2% que no lo fue.
En cuanto a la capacitación formal en metodologías y herramientas de mejora, el 70,8% de los encuestados ha participado en dicha formación. Según las respuestas presentadas por dichos encuestados en la figura 13 se puede concluir que las temáticas en las que se recibió capacitación son 5S y el ciclo PDCA un 20% y un 15% respectivamente. Estos resultados reflejan una mayor inclinación hacia la mejora continua y el ambiente de trabajo. El liderazgo con un 15.7%, también destaca como una temática de interés, seguido de indicadores de gestión con un 14.3% y trabajo en equipo con un 12.9%. El estudio de procesos con 26.5% y las herramientas de calidad con 20.6% presentan menores porcentajes en las capacitaciones proporcionadas a los colaboradores.

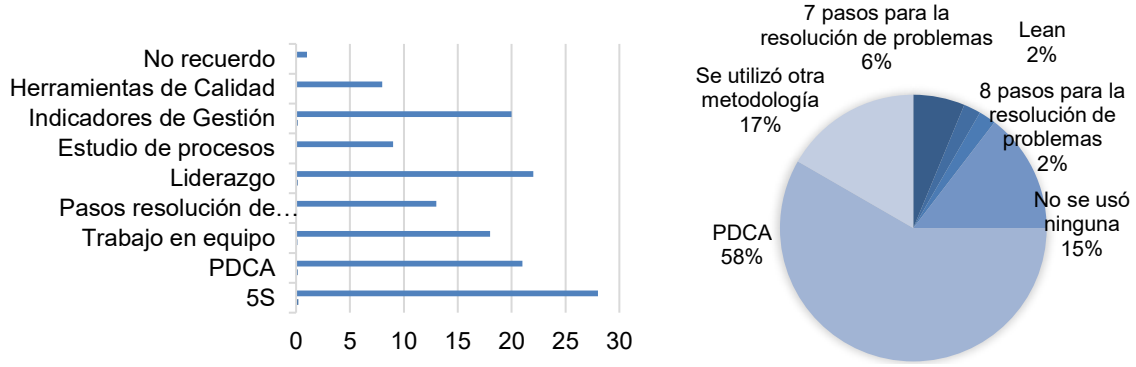


Figura 13 Temáticas en las que recibió capacitación y metodología utilizada

Aunque se evidencia una alta formación en el ciclo PDCA, su uso no se refleja de manera consistente en los trabajos presentados durante los encuentros internos 2023 (Figura 13), ni en la evaluación realizada por los líderes. Asimismo, en el Open Space se identificó como una debilidad a abordar.
Por otro lado, los encuestados señalaron que, en un 58,3%, su enfoque hacia las mejoras o la resolución de problemas cotidianos en su sector se encuentra en la fase inicial de sistematización. Un 37,5% lo realiza de manera sistemática y un 4,2% lo hace de forma aislada. Estos resultados coinciden con lo previamente mencionado, y sugieren los primeros pasos en la implementación de metodologías estructuradas para la resolución de problemas.
En relación a la utilización de metodología de mejora continua en el último proyecto que participaron, Figura 13 en la imagen derecha, el 58,3% de los encuestados utilizó el ciclo PDCA, otra metodología el 16,7%, ninguna el 15 %, 7 pasos para la resolución de problemas el 6,3%, 8 pasos para la resolución de problemas el 2,1% y Lean el 2,1%. Si bien los entrevistados hicieron uso de metodologías específicas el enfoque metodológico analizado en el desarrollo de los proyectos es pobre.
En cuanto a las herramientas de calidad utilizadas para abordar la problemática, solo el 8,3% de los participantes en los grupos de mejora encuestados indicó no haber empleado ninguna. Entre las herramientas más utilizadas destacan: la tormenta de ideas, empleada por un 39,6% el diagrama de Pareto (8,3%); el registro de datos, con un 8,3%; el gráfico de control, mencionado por un 4,2%; y la espina de pescado, usada por un 6,2%. De lo analizado se observa que los colaboradores señalan haber usado una variedad de estas herramientas sin embargo si bien no se puede comparar de manera directa, la muestra de los encuentros internos 2023 no presenta o no muestra el uso de ninguna de ellas, lo que señala la necesidad de reforzar la temática y su implementación a futuro.
Las principales ventajas de las herramientas utilizadas para analizar los procesos y problemas son, en primer lugar, la visibilización de los problemas (60,4%) y la organización de la información (60,4%). En segundo lugar, destacan una mayor comprensión del problema (47,9%), y en tercer lugar, la facilidad de aplicación (39,6%). A cerca de las dificultades, la principal barrera es la falta de tiempo (41,7%),

seguida de la falta de datos y mediciones (31,3%) y la resistencia al cambio (27,1%). Un 27% de los encuestados indicó no haber experimentado dificultades.
Otro aspecto destacado en los resultados alcanzados es el grado de cumplimiento de los objetivos en los proyectos en los que participaron. El 62,5% de las personas considera que los objetivos se cumplieron en su totalidad, el 20,9% cree que se lograron parcialmente, y un 2,1% opina que prácticamente no se alcanzaron. Relacionándolo con lo analizado en la etapa 1 de la encuesta a los líderes y las evaluaciones de proyectos en 2023 la percepción de los colaboradores se encuentra en línea con porcentajes similares.
Los principales factores que facilitaron el cumplimiento de los objetivos señalados por los encuestados fueron, en primer lugar, el trabajo en equipo (83,3%), seguido de la dedicación (60,4%) y, en tercer lugar, el apoyo de la dirección (47,9%). Es importante resaltar la valoración de los colaboradores hacia la dirección, que fomenta y se compromete con el camino de la mejora continua y su programa.
Por otro lado, quienes no lograron alcanzar completamente los objetivos indicaron como principales razones del incumplimiento en primer lugar, la falta de asignación de recursos (60%); en segundo lugar, la falta de tiempo (40%); y en tercer lugar, la imposibilidad de aplicar la solución (20%). En relación con la mirada de los líderes plasmada en la encuesta ambos coinciden en la falta de tiempo. Pero se observa en los líderes un enfoque a cuestiones motivacionales y de las personas y en la encuesta aspectos más orientados a la organización y la logística.

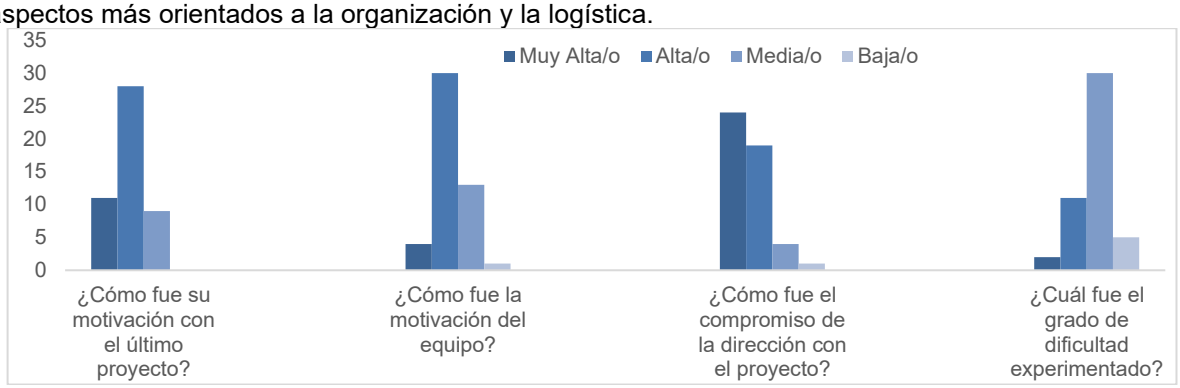


Figura 14 – Aspectos de motivación, compromiso y dificultad personal

La encuesta reveló diversos aspectos intangibles experimentados por las personas. En la Figura 14 se aprecia un alto nivel de motivación tanto de los colaboradores como del equipo, así como un compromiso muy alto y alto por parte de la dirección con el proyecto. En cuanto al grado de dificultad percibido por los colaboradores, este se calificó como medio.
Las principales dificultades experimentadas por los integrantes de los proyectos, como se observa en la Figura 15 en el lado izquierdo, fueron, en primer lugar, la falta de tiempo debido a la sobrecarga laboral (60,4%). En segundo lugar, se señaló la falta de compromiso de las personas (18,8%), y en tercer lugar, con un 14,6% cada una, se destacan la falta de organización, la comprensión de la temática y la falta de recursos. Estas dificultades coinciden con algunas de las razones mencionadas anteriormente para no alcanzar los objetivos del proyecto y con la mirada de los líderes analizada en la primera etapa.

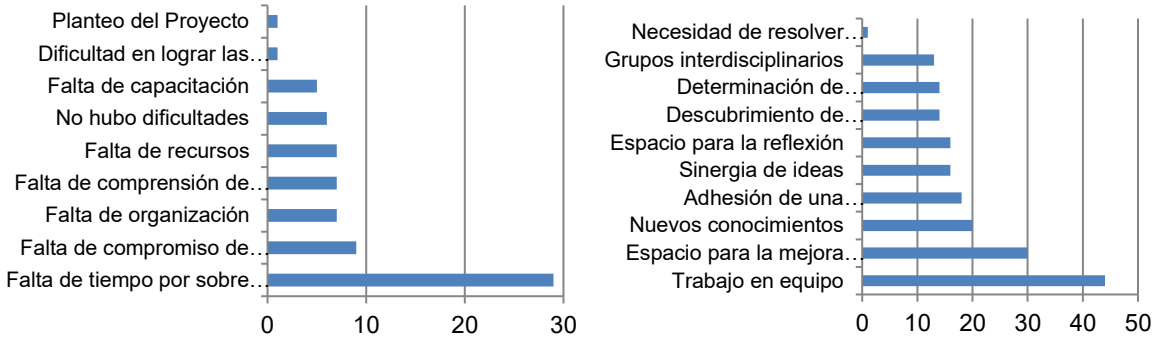


Figura 15 – Principales dificultades y ventajas experimentadas en el proyecto

En la Figura 15 en la imagen derecha, se identifican las principales ventajas experimentadas durante la participación en el proyecto. En primer lugar, destaca el trabajo en equipo (91,7%); en segundo lugar, disponer de un espacio para mejorar los procesos (62,5%); y, en tercer lugar, la oportunidad de adquirir nuevos conocimientos (41,7%). Observándose con esto algunas de las principales potencialidades de la mejora continua.

La evaluación de los aprendizajes luego de cerrado el proyecto, fue otro aspecto analizado en la encuesta donde se observa que el 58.3% de los participantes dicen no haber realizado una reflexión de estas características, el 25% si lo realizó y el 16, 7% desconoce. Esto se encuentra en concordancia con lo analizado en los proyectos 2023.
Las presentaciones internas emergen como el principal vehículo para compartir las experiencias de mejora continua y generar reconocimiento por la participación y/o resultados del proyecto. Esto se ve reflejado en que la participación en los encuentros internos ocupa el primer lugar (89,6%) y los Encuentros de mejora SAMECO a nivel regional y/o nacional como otra estrategia ocupa el segundo lugar (27,1%). Otros medios como cartelería, capacitaciones y mails tuvieron una menor utilización, mientras que las gacetillas no jugaron ningún rol significativo. Esto refleja que el enfoque preferido para compartir y reconocer estas experiencias ha sido a través de eventos formales y presenciales, con menos énfasis en la difusión escrita o electrónica.

4. CONCLUSIONES.

La implementación de un programa de mejora continua en una institución de salud es un proceso complejo y multifacético que busca optimizar la calidad de atención al paciente, incrementar la eficiencia operativa y reducir costos. A través de un estudio de caso realizado en un centro de salud del sur de la Provincia de Buenos Aires, se han obtenido resultados preliminares que destacan tanto los logros como los desafíos enfrentados en este proceso.
Los resultados de las primeras etapas del estudio indican que, aunque el programa se encuentra en una fase incipiente, ha habido un aumento significativo en la cantidad de proyectos presentados y en la participación del personal. En el primer encuentro interno, se presentaron 12 trabajos, mientras que en el segundo se incrementó a 19, con un 47% de estos proyectos involucrando la integración de múltiples sectores. Este avance sugiere una maduración en la cultura de mejora continua dentro de la organización, promoviendo un entorno colaborativo y resiliente.
Los encuestados han reportado una mayor satisfacción y compromiso del personal, lo que contribuye a la sostenibilidad y competitividad de la institución. Sin embargo, también se han identificado áreas de mejora, como la necesidad de establecer objetivos claros y medibles, así como la capacitación en metodologías de mejora continua. Un 71% de los proyectos no definieron objetivos SMART, lo que dificulta la evaluación de su efectividad y el uso de metodología es otra de las oportunidades de mejora. Además, se ha observado que el 58% de los proyectos cumplió parcialmente sus objetivos, y un 55% de los encuestados indicó que los problemas abordados resurgieron total o parcialmente. Las principales dificultades enfrentadas incluyen la falta de tiempo, motivación y continuidad de los equipos, lo que resalta la importancia de un compromiso organizacional sólido y de la asignación de recursos adecuados.
A pesar de estos desafíos, los participantes han destacado la importancia del trabajo en equipo, la comunicación y el apoyo de la dirección como factores clave para el éxito de los proyectos. Un 62.5% de los encuestados considera que los objetivos se cumplieron en su totalidad, lo que refleja un alto nivel de motivación y un compromiso significativo hacia la mejora continua.
En conclusión, la implementación de un programa de mejora continua en la institución de salud ha mostrado resultados prometedores, con un aumento en la participación y satisfacción del personal. Sin embargo, es crucial abordar las áreas de mejora identificadas, como la definición de objetivos claros y la capacitación en metodologías, para garantizar la sostenibilidad y efectividad del programa a largo plazo. Fomentar una cultura de mejora continua requiere un esfuerzo colectivo y un enfoque sistemático que involucre a todos los niveles de la organización, impactando positivamente en la calidad de atención y en la satisfacción de los pacientes.

5. REFERENCIAS.

Bessant, J. (1994). Rediscovering continuous improvement. *Technovation*, 17-29. https://doi.org/10.1016/0166-4972(94)90067-1

Blanco, S., Berardi, M. B., Migueles, M., & Ambrústolo, M. (2022). Factores claves del compromiso organizacional para el desarrollo de proyectos de mejora continua [Trabajo completo]. En A. O. Morcela (Comp.), *XV Congreso Internacional de Ingeniería Industrial y Afines COINI 2022* (pp. 1-12). UNMDP. ISBN 978-987-811-066-0

Castro, S., Niotti, G., & Quiñones Robles, N. (2016). *Calidad en la atención de la salud desde la auditoría médica*. Curso de Auditoría Médica. https://bit.ly/3RSCplt Estrategia integral de formación para la mejora continua de la calidad de los servicios de salud. (2015). *Salud Pública de México*, 57(3).

Flores Arévalo, J., & Barbarán Mozo, H. P. (2022). Plan integral de mejora para fortalecer la gestión hospitalaria a nivel institucional en la región San Martin. *Cs. Lat.*, 6(1), 2436-2460. https://n9.cl/dr39z

Formento, H. (2006). Manual de entrenamiento para equipos de mejora continua - 1a ed. - Los Polvorines : Universidad Nacional de General Sarmiento.

Formento, H. (2015). *El proceso de mejora continua. Claves para el desarrollo exitoso de las organizaciones*. UNGS.

Garcia-Sabater, J. M.-G. (2011). Can we still talk about continuous improvement? Rethinking enablers and inhibitors for successful implementation. *International Journal of Technology Management*, 55, 28-42.

Imai, M. (2001). *Kaizen: La clave de la ventaja competitiva japonesa*. Compañía Editorial Continental.

Imai, Masaaki. (2012) Gemba Kaizen: A Commonsense Approach to a Continuous Improvement Strategy. McGraw-Hill.

Bessant, J, Caffyn, S., & Gallagher, M. (2001). An evolutionary model of continuous improvement behaviour. *Technovation*, 21(2), 67-77. https://doi.org/10.1016/S0166-4972(00)00023-7

Loper, A., Jensen, T., Farley, A., Morgan, J., & Metz, A. (2021). A systematic review of approaches for continuous quality improvement capacity-building. *Journal of Public Health Management and Practice*. Advance online publication. https://doi.org/10.1097/PHH.0000000000001412

Marin-García, J. A., Bautista-Poveda, Y., & Garcia-Sabater, J. J. (2014). Etapas en la evolución de la mejora continua: Estudio multicaso. *Intangible Capital*, 10(3), 584-618.

Marin-Garcia, J. A., Pardo-del-Val, M., & Bonavia, T. (2008). Análisis de programas de mejora continua. Un estudio longitudinal en una empresa industrial. Gestão & Produção, 15(3), 433–447. https://doi.org/10.1590/S0104-530X2008000300002

Monsalve Ospina, Y. O., & Calvo Ospina, M. J. (2024). Mejora continua en la gestión de servicios de salud: Estrategias para la excelencia administrativa *European Public & Social Innovation Review*, 9, 1-16. https://doi.org/10.31637/epsir-2024-767

"PROTOCOLO DE MEDICIÓN ANTROPOMÉTRICA PARA ALUMNOS UNIVERSITARIOS"

Álvarez, Gabriela; Bustaber, Raúl

Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional
gfalvarez@frsf.utn.edu.ar; rbustaber@yahoo.com.ar

RESUMEN

En el marco de un proyecto dirigido a identificar los aspectos ergonómicos que inciden en la incomodidad de los estudiantes en las aulas universitarias de Santa Fe, se busca recopilar medidas antropométricas de la población estudiantil. Nuestro objetivo es obtener una tabla de medidas antropométricas específicas de nuestra comunidad estudiantil para evaluar si el mobiliario utilizado en el ámbito educativo se adapta adecuadamente a las dimensiones de nuestros alumnos.

La definición de un protocolo de medición antropométrica es esencial, ya que garantiza la estandarización de las mediciones, asegurando su consistencia y precisión, otorgando fiabilidad de los datos recopilados y permitiendo la comparación de resultados entre poblaciones y momentos diferentes. Estas mediciones precisas nos permiten realizar inferencias sobre la relación entre las dimensiones antropométricas y otros factores, como la incomodidad experimentada por los estudiantes.

La metodología se basará en protocolos de medición como la norma ISO 7250-1:2018 sobre Mediciones Básicas del Cuerpo Humano para Diseños Tecnológicos y el Protocolo Internacional para la Valoración Antropométrica de la Asociación Internacional para los Avances de la Cineantropometría (ISAK).

Un protocolo claro y detallado también facilita que otros investigadores o profesionales puedan replicar el estudio y verificar los resultados. En resumen, la definición de este protocolo de medición antropométrico garantiza la calidad y utilidad de los datos recopilados, lo que es esencial para alcanzar los objetivos de investigación y tomar decisiones informadas en diversos contextos, como el diseño de mobiliario escolar en el caso de este proyecto.

Palabras claves: ergonomía, protocolo, medidas antropométricas, estandarización, estudiantes universitarios, confort.

ABSTRACT

Within the framework of a project aimed at identifying the ergonomic aspects that affect student discomfort in Santa Fe university classrooms, we seek to collect anthropometric measurements of the student population. Our objective is to obtain a table of specific anthropometric measurements of our student community in order to evaluate whether the furniture used in the educational environment is adequately adapted to the dimensions of our students.

The definition of an anthropometric measurement protocol is essential, as it guarantees the standardization of measurements, ensuring their consistency and accuracy, providing reliability of the data collected and allowing the comparison of results between populations and different times. These accurate measurements allow us to make inferences about the relationship between anthropometric dimensions and other factors, such as discomfort experienced by students.

The methodology will be based on measurement protocols such as ISO 7250-1:2018 on Basic Human Body Measurements for Technological Designs and the International Protocol for Anthropometric Assessment from the International Society for the Advancement of Kineanthropometry (ISAK).

A clear and detailed protocol also makes it easier for other researchers or practitioners to replicate the study and verify the results. In summary, the definition of this anthropometric measurement protocol guarantees the quality and usefulness of the results.

Keywords: ergonomics, protocol, anthropometric measurements, standardization, university students, comfort.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se enmarca en el proyecto de investigación de la UTN Facultad Regional Santa Fe titulado “Desajuste ergonómico entre la antropometría de los estudiantes y el mobiliario de las aulas universitarias de la ciudad de Santa Fe”. El estudio pretende evaluar el desajuste entre las dimensiones antropométricas de los estudiantes universitarios y el mobiliario educativo, generando una base de datos que permita desarrollar propuestas de mejora ergonómica para reducir el malestar y los problemas de salud asociados.

En este marco debemos mencionar que, la antropometría es la disciplina que describe las diferencias cuantitativas de las medidas del cuerpo humano, estudia las dimensiones tomando como referencia distintas estructuras anatómicas y sirve de herramienta a la ergonomía con objeto de adaptar el entorno a las personas, sin olvidarnos de diferenciar los distintos movimientos de la personal en el puesto de trabajo, en este caso el mobiliario, diferenciando la antropometría estática, que mide las diferencias estructurales del cuerpo humano, en diferentes posiciones, sin movimiento, de la antropometría dinámica, que considera las posiciones resultantes del movimiento, ésta va ligada a la biomecánica (Mondelo, 2021)

La ergonomía aplicada al entorno educativo es fundamental para optimizar la comodidad y el rendimiento de los estudiantes. En la ciudad de Santa Fe, y en la UTN Facultad Regional Santa Fe, se ha observado que los mobiliarios en las aulas universitarias no siempre se ajustan adecuadamente a las características antropométricas de los estudiantes, lo que deriva en incomodidades y riesgos para la salud.

Este trabajo complementa el análisis previo realizado por otros miembros del equipo de investigación, quienes encuestaron a los estudiantes sobre sus percepciones del mobiliario educativo en la UTN FRSF. Con estos datos, el siguiente paso es realizar mediciones antropométricas precisas de la población estudiantil para establecer una relación clara entre las dimensiones del mobiliario y las necesidades ergonómicas de los usuarios.

Para este estudio, se plantea medir la población universitaria para obtener datos reales y confiables sobre sus dimensiones antropométricas. Estos datos serán fundamentales para evaluar los desajustes ergonómicos y realizar ajustes en el mobiliario de las aulas.

Se propone, en primera instancia, diseñar un protocolo de medición antropométrica que permita estandarizar el proceso de recolección de datos. Este protocolo deberá garantizar consistencia y precisión, asegurando que cualquier miembro del equipo de investigación, con el entrenamiento adecuado, pueda realizar las mediciones de manera confiable.

Diferentes autores han propuesto métodos para la medición antropométrica que aseguran precisión en la recolección de datos. Estos métodos incluyen la medición de variables clave como la altura del asiento, la altura del escritorio, la profundidad del asiento y la distancia entre el respaldo y la rodilla, entre otras. La revisión de estas metodologías permitirá adaptar un sistema de medición que sea acorde a las necesidades del estudio.

El objetivo principal de este proyecto es elaborar una tabla de medidas antropométricas específicas de los estudiantes de la Facultad Regional Santa Fe, con la posibilidad de expandirlo a otras facultades de la ciudad en etapas posteriores. Esto permitirá evaluar si el mobiliario actual se ajusta a las características físicas de los estudiantes. La implementación de un protocolo de medición estandarizado será fundamental para obtener resultados confiables, lo que facilitará el diseño de mobiliario más adecuado y que favorezca tanto el bienestar como el rendimiento académico de los estudiantes en el aula.

2. OBJETIVOS Y ABORDAJE METODOLÓGICO

2.1. Objetivo

Definir un protocolo de medición antropométrica que garantice la estandarización de las mediciones y obtener una tabla de medidas antropométricas específicas de la comunidad estudiantil,

para evaluar si el mobiliario utilizado en el ámbito educativo se adapta adecuadamente a las dimensiones de nuestros alumnos.

2.2. Metodología

Como recomienda Milian (2014), para asegurar la precisión y consistencia en la toma de mediciones antropométricas, es crucial considerar varios aspectos clave antes de iniciar el proceso.

2.2.1. Requisitos Generales para Realizar Mediciones Antropométricas

Comunicación de Detalles y Objetivos del Estudio: Antes de comenzar con las mediciones, es fundamental explicar detalladamente a los participantes el tipo de mediciones que se llevarán a cabo, así como los objetivos específicos del estudio. Esto ayuda a los participantes a entender el proceso y su importancia, promoviendo así su colaboración y compromiso.

Procedimientos de Consentimiento Informado: todos los participantes deben ser informados detalladamente sobre los objetivos y el alcance del relevamiento. Posteriormente, se les proporcionará un acuerdo de consentimiento que deberán leer y firmar. Este acuerdo asegura que los participantes comprenden plenamente el propósito del estudio, así como sus derechos y obligaciones, y que su participación es completamente voluntaria.

Condiciones del Espacio de Medición: El lugar donde se realizarán las mediciones deberá ofrecer la privacidad necesaria para los participantes, ser lo suficientemente amplio para permitir los movimientos requeridos por el individuo examinado, la persona que realiza las mediciones y cualquier personal de apoyo técnico presente. Además, el entorno debe tener condiciones ambientales confortables, con una iluminación adecuada, temperatura controlada y buena ventilación.

Colaboración y Control de Calidad: Es recomendable contar con la colaboración de un asistente. Este asistente puede ser responsable de anotar las medidas en la ficha antropométrica y establecer un control de calidad. La presencia de un asistente permite un proceso más fluido y ayuda a minimizar errores en la recopilación de datos, mejorando así la fiabilidad de las mediciones.

2.2.2. Requisitos relacionados con la persona a la que se le realizarán las mediciones antropométricas

Vestimenta adecuada: Las mediciones se realizarán preferentemente en primavera o verano para facilitar una vestimenta ligera, como pantalón corto o falda, que no dificulte las posiciones necesarias durante el proceso de medición.

Accesorios: Se solicitará a los participantes no llevar accesorios como joyas, cinturones o relojes que puedan interferir o introducir variaciones en las mediciones.

Calzado: Los participantes deberán estar descalzos para garantizar la precisión en las mediciones de altura.

2.2.3. Requisitos relacionados con la persona que realizará las mediciones antropométricas

Conocimientos y habilidades: deberá poseer conocimientos teóricos y prácticos sólidos sobre antropometría, incluyendo los procedimientos específicos de las mediciones a realizar. Para esto se tomará un curso de capacitación con profesionales experimentados, Dr. Elías Apud y Esteban Oñate, a fin de garantizar estos conocimientos y habilidades.

Respeto y distancia: es importante mantener una distancia prudencial durante el proceso de medición para respetar el espacio personal del participante.

Higiene y cuidado: palpar con cuidado, asegurando tener las uñas cortas para evitar incomodidad o lesiones al participante.

2.2.4. Requisitos relacionados con las mediciones antropométricas

Lado del cuerpo: Todas las medidas se realizarán en el lado derecho del cuerpo, siguiendo la convención internacional para estandarizar los resultados.

Puntos anatómicos: Antes de comenzar, se marcarán discretamente con un lápiz demográfico los puntos anatómicos de referencia para las mediciones. Estas marcas deben ser claras, pero no invasivas.

Secuencia de mediciones: Se seguirá una secuencia lógica y sistemática en la toma de medidas, ya sea de arriba hacia abajo o viceversa, para asegurar la coherencia en los datos.

Homogeneidad en técnicas y anotaciones: Es fundamental que las técnicas y las anotaciones sean consistentes en todos los participantes. Se recomienda limitar el número de personas que realizan las mediciones para minimizar la variabilidad. 4 personas, divididas en 2 turnos para realizar las mediciones, se nombrarán y entrenarán. Un grupo por la mañana y por la tarde.

2.2.5. Posición anatómica para la realización de las mediciones antropométricas

Móndelo, P. (2021). *Ergonomía 1: Fundamentos*. Destaca las posiciones básicas para la toma de medidas antropométricas, como la postura a pie y sedente.

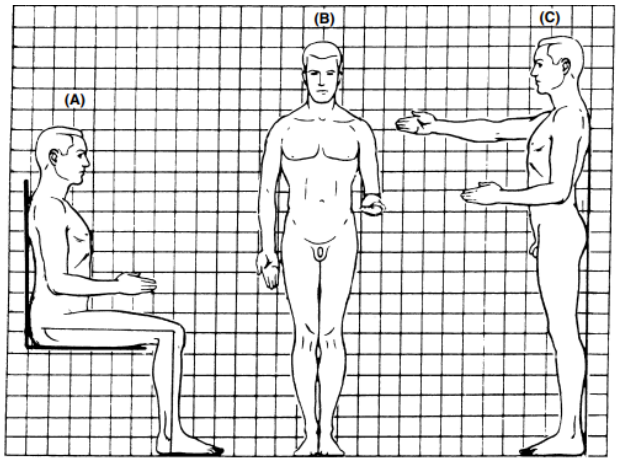


Figura 1: Posiciones básicas para la toma de medidas antropométricas – Libro fundamentos de Ergonomía Pedro Móndelo fig. 3.3.

En una primera instancia se tomarán mediciones de pie, en tal sentido se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

Posición estándar: Los participantes deben estar de pie (bipedestación), con una postura erguida y mirando al frente. La cabeza y los ojos deben dirigirse hacia un punto fijo, con las extremidades superiores relajadas a lo largo del cuerpo y los dedos extendidos.

Distribución del peso: El peso del cuerpo debe distribuirse de manera uniforme en ambas piernas, con los pies juntos por los talones y formando un ángulo de 45 grados entre sí.

Colocación de las manos: Las palmas de las manos deben tocar ligeramente los lados de los muslos, a diferencia de la posición anatómica tradicional, donde las palmas están orientadas hacia adelante, para mayor comodidad del participante.

Al realizar mediciones antropométricas en una postura sedente, se debe tener en cuenta varias consideraciones para garantizar que los datos obtenidos sean precisos y útiles para el diseño ergonómico del mobiliario. A continuación, se detallan algunas de las consideraciones clave:

- **Espalda recta**: El sujeto debe estar sentado con la espalda recta y en contacto con el respaldo de la silla, manteniendo una postura natural y relajada.
- **Ángulo de las rodillas**: Las rodillas deben estar a un ángulo de 90 grados, con los pies completamente apoyados en el suelo o en un reposapiés.
- **Ángulo del codo**: Los brazos deben estar relajados a los costados del cuerpo, con los codos formando un ángulo de 90 grados o ligeramente mayor.
- **Cabeza alineada**: La cabeza debe estar alineada con la columna vertebral, evitando inclinaciones hacia adelante o hacia atrás.

Medidas Antropométricas Claves:

- **Altura poplítea (altura de la rodilla al suelo)**: Esta medida es esencial para determinar la altura del asiento adecuada.
- **Profundidad del asiento**: Se mide desde el borde delantero del asiento hasta el respaldo de la silla. Esta medida es crucial para asegurar que el asiento no ejerza presión excesiva en la parte posterior de las rodillas.
- **Altura de los hombros**: Permite ajustar la altura del respaldo y la ubicación del soporte lumbar.
- **Altura del codo sentado**: Se mide desde el asiento hasta el codo. Es útil para diseñar apoyabrazos y determinar la altura adecuada de las superficies de trabajo, como escritorios o mesas.

2.2.6. Otras consideraciones para las mediciones antropométricas

- **Estabilidad del mobiliario**: La silla utilizada para las mediciones debe ser estable y tener la altura ajustada adecuadamente al sujeto, evitando movimientos que alteren las medidas.
- **Variabilidad individual**: Considerar que las dimensiones antropométricas pueden variar ligeramente dependiendo de la postura del individuo, la hora del día, o incluso la fatiga muscular. Es recomendable realizar varias mediciones para promediar los resultados y obtener una mayor precisión.
- **Diferencias por género**: Tener en cuenta que existen diferencias antropométricas entre hombres y mujeres, lo que puede influir en las características óptimas del mobiliario.
- **Variaciones de edad**: Es posible que la edad de los estudiantes influya en las medidas obtenidas, ya que los individuos más jóvenes o mayores pueden presentar variaciones en altura y estructura corporal.
- **Ergonomía Dinámica**: Además de las mediciones estáticas, es importante tener en cuenta que los estudiantes adoptan diferentes posturas durante la jornada, como inclinarse hacia adelante o cambiar de posición. Por ello, el mobiliario debe permitir un grado de movilidad y ajuste para acomodar estas posturas cambiantes.
- **Equipamiento necesario**: calibre de diámetros óseos para medir anchos, tallímetro para medir alturas y segmómetro para segmentos corporales. Goniómetro para medir ángulos del brazo y piernas, cinta métrica para adaptaciones con calibre de diámetros óseos. Para las mediciones sedentes, se utilizará un banco sin respaldo, con una superficie plana de 55 a 60 cm de ancho y 60 cm de profundidad. La altura del banco será ajustable para que las piernas del participante formen un ángulo de 90 grados cuando esté sentado. Este banco debe colocarse contra una superficie vertical plana para mayor estabilidad.

2.2.7. Determinación de puntos anatómicos para las mediciones

Para garantizar la precisión en la toma de medidas antropométricas, es esencial identificar correctamente los puntos anatómicos de referencia (ISO 7250-1 2018). Estos puntos sirven como guía para las mediciones y ayudan a estandarizar el proceso. A continuación, se describen los puntos anatómicos más relevantes:

- **Vértex:** Es el punto más superior del cráneo. Este punto se utiliza como referencia para la medición de la altura y se encuentra en la parte más alta del cráneo en el plano sagital medio. Para medir este punto el tallímetro deberá contar con una escuadra antropométrica que permita medir con exactitud la altura de la persona.

- **Plano de Frankfurt:** Es un plano cefalométrico que pasa por el borde inferior de la cavidad orbitaria y por el porion (el punto más alto del conducto auditivo externo). Este plano se utiliza para asegurar que la cabeza del sujeto esté correctamente alineada durante la medición de la estatura.
- **Acromiale:** Este punto se localiza en el borde superior del acromion, alineado con su aspecto más lateral. El acromiale es una referencia clave para la medición de la longitud del brazo y otras mediciones relacionadas con los hombros.
- **Olécranon:** El olécranon es una de las apófisis de la parte superior del cúbito y tiene forma de prisma de base cuadrangular. Constituye la prominencia dorsal del codo y se utiliza como referencia en la medición de la longitud del antebrazo y el brazo.
- **Subescapular:** Se refiere al punto más inferior del ángulo inferior del omóplato. Para determinar este punto, se palpa el ángulo inferior del omóplato con el dedo pulgar izquierdo. Si existe dificultad para localizarlo, el sujeto puede llevar lentamente el brazo derecho hacia atrás de la espalda, lo que permite que el ángulo inferior sea más visible. Una vez identificado, se vuelve a colocar la mano del sujeto al costado del cuerpo.
- **Hueco poplíteo:** Esta es una zona profunda localizada en la parte posterior y medial del miembro inferior, justo detrás de la rodilla. El hueco poplíteo es una referencia importante para la medición de la longitud del muslo y la pierna.

Estos puntos anatómicos son fundamentales para asegurar la consistencia y precisión en la recopilación de datos antropométricos, permitiendo un análisis confiable de la composición corporal de los estudiantes universitarios.

2.2.8. Medidas correspondientes a las personas

Las medidas que se tomen de nuestra población objetivo dependen de la aplicación funcional con el mobiliario educativo, para esto se definió el número mínimo de dimensiones relevantes que debemos conocer (Mondelo, 2021).

Por las características de los estudios antropométricos, se deben analizar con rigor las medidas a tomar y el error admisible, ya que la precisión y el número total de medidas guarda relación con la posibilidad de viabilidad económica del estudio.

El proceso de medición será realizado por un equipo de dos personas: un observador, quien ejecutará las mediciones, y un ayudante, quien registrará las medidas en las fichas correspondientes. Este método colaborativo asegura una mayor precisión y eficiencia en la recopilación de datos.

Para la toma de mediciones, se seguirá una secuencia lógica que comenzará de arriba hacia abajo, asegurando un orden sistemático:

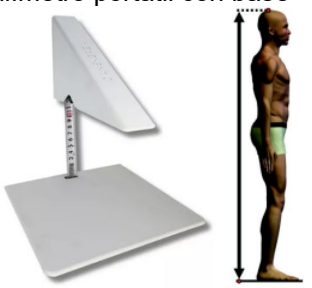
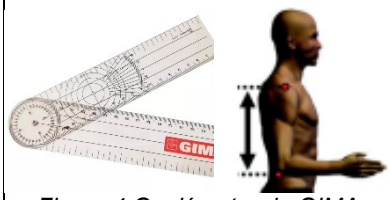
1. **Dimensiones en bipedestación:** Primero se medirán las dimensiones mientras el sujeto se encuentra de pie, siguiendo la posición estándar descrita previamente.
2. **Medidas en postura sentado (vista posterior):** A continuación, el sujeto tomará asiento para las mediciones que requieran ser realizadas desde atrás, permitiendo un acceso claro a puntos específicos de la espalda y extremidades.
3. **Medidas en postura sentado (vista lateral):** Finalmente, se realizarán las mediciones con el sujeto sentado de costado, lo que facilitará el acceso a las dimensiones laterales del cuerpo.

Antes de comenzar con las mediciones, es crucial identificar y marcar los puntos anatómicos de referencia definidos en el inciso 2.2.7.

Toma de la medición en postura: PARADO (BIPEDESTACION)

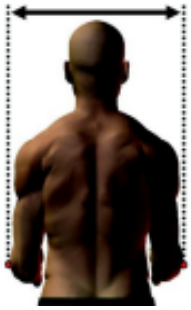
Tabla 1 Identificación, técnica de medición e instrumentos a utilizar para las medidas en bipedestación.

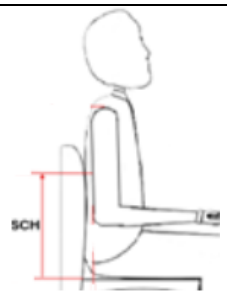
Siglas	Dimensiones	Técnica de medición	Instrumento / ilustraciones

S	Estatura	El sujeto descalzo, de pie, apoyando contra la pared las escápulas, glúteos, talones y parte posterior del cráneo, con los talones juntos y a un ángulo de 45° y el mentón recogido de manera que el plano de Frankfurt se encuentre horizontal. La medición se efectúa tras una inspiración profunda, se posiciona la superficie horizontal de la escuadra sobre el vértex y se efectúa la medición.	Tallímetro portátil con base  *Figura 2 Tallímetro y dimensión S*
SFL	Distancia entre hombro y punta de los dedos	Sujeto en bipedestación, postura erguida, con los miembros superiores a ambos lados del cuerpo, las palmas y dedos de las manos rectos y extendidos hacia abajo, mirando hacia el frente, con el peso distribuido equitativamente en ambos pies. Se tomará la distancia desde el acromiale hasta la punta del dedo medio, posicionando el extremo fijo del segmómetro en el acromiale.	Segmómetro  *Figura 3 Segmómetro de Calibres Argentinos SRL y dimensión SFL*
AL	Distancia entre hombro y codo	Sujeto en bipedestación, postura erguida, con los miembros superiores a ambos lados del cuerpo, el antebrazo flexionado a 90° (medida con goniómetro) y las manos con las palmas orientadas hacia el plano sagital. Se tomará la distancia vertical desde el acromiale hasta el olécranon, posicionando la rama fija del segmómetro sobre el acromiale.	Segmómetro y goniómetro  *Figura 4 Goniómetro de GIMA y dimensión AL*
EFL	Distancia entre codo y punta de los dedos	Distancia determinada horizontalmente desde la depresión del codo hasta la punta del dedo medio en una posición sentada estándar. Cálculo: EFL= SFL-AL	Ecuación  *Figura 5 Dimensión EFL*

Toma de la medición en postura: SENTADO DE ATRÁS

Tabla 2 Identificación, técnica de medición e instrumentos a utilizar para las medidas sentado de atrás.

Siglas	Dimensiones	Técnica de medición	Instrumento / Ilustraciones
SEB	Distancia entre codos	Para tomar la medida el sujeto permanece sentado con la espalda recta, los brazos colgando en una posición relajada y los antebrazos flexionados formando un ángulo de 90°. El observador se sitúa detrás del individuo colocando las ramas de segmómetro en la superficie exterior de los codos y, sin ejercer presión, lo subirá y bajará verticalmente hasta detectar el valor máximo.	Segmómetro  *Figura 6 Dimensión SEB*
SCH	Altura subescapular	El sujeto sentado erecto en el banco, con los miembros superiores relajados y las manos	Segmómetro o calibre

		descansando sobre los muslos. Se tomará la medida desde la superficie del asiento, posicionando sobre este la rama fija del segmómetro y ubicando la otra rama a la altura del punto subescapular, marcado previamente, manteniendo el instrumento paralelo al plano sagital del cuerpo.	 *Figura 7 Dimensión SCH*
HB	Ancho de caderas	El sujeto permanece sentado con la espalda recta, con las rodillas y tobillos en ángulo recto y con muslos y rodillas juntas. El observador se coloca detrás y debe localizar con los dedos los huecos de la cadera, se colocan las ramas del segmómetro sobre las crestas ilíacas sin presionar y medirá la distancia horizontalmente entre los bordes externos laterales de los muslos subiendo y bajando hasta encontrar el valor máximo.	Calibre de diámetros óseos  *Figura 8 Calibre de diámetros óseos de Calibres Argentinos SRL y dimensión HB*

Toma de la medición en postura: SENTADO DE COSTADO

Tabla 3 Identificación, técnica de medición e instrumentos a utilizar para las medidas sentado de costado.

Siglas	Dimensiones	Técnica de medición	Instrumento /imagen
SSH	Altura sentado al hombro	El sujeto sentado erecto en el banco, ubicado contra una superficie vertical plana, con la región lumbo-sacra contra la superficie, los miembros superiores relajados y las manos descansando sobre los muslos. Se tomará la medida desde la superficie del asiento, posicionando sobre este la rama fija del segmómetro y ubicando la otra rama a la altura del acromiale, manteniéndolo lo más vertical posible.	Segmómetro  *Figura 9 Dimensión SSH*
SEH	Altura sentado a codo	Distancia determinada verticalmente desde la parte inferior del codo hasta la superficie del asiento. Cálculo: SEH= SSH-AL	Ecuación  *Figura 10 Dimensión SEH*
PH	Altura poplítea	El sujeto sentado con ambos pies apoyados en forma plana y sin que el borde anterior del asiento ejerza presión sobre la cara posterior del muslo (muslos horizontales formando un ángulo de 90°). Se posiciona el segmómetro haciendo contacto con el suelo en posición vertical y, manteniéndolo paralelo al plano sagital del cuerpo, se posiciona la rama	Segmómetro y goniómetro

		móvil en contacto con el punto más alto de la depresión poplítea.	 *Figura 11 Dimensión PH*
TT	Espesor de muslo	El sujeto sentado con ambos pies apoyados en forma plana y sin que el borde anterior del asiento ejerza presión sobre la cara posterior del muslo. Los muslos deben estar en posición horizontal formando un ángulo de 90° con las piernas y el tronco. Se toma la medida verticalmente desde la superficie del banco hasta el punto más alto del muslo a nivel inguinal, posicionando la rama móvil del calibre sobre este sin ejercer presión (tomar como referencia el pliegue cutáneo que se forma entre el muslo y la cintura pélvica).	Calibre de diámetros óseos y goniómetro  *Figura 12 Dimensión TT*
BPL	Distancia sentado sacro-poplítea	El sujeto sentado con la región lumbro-sacra contra la superficie vertical, sin comprimirla, y ambos pies apoyados en forma plana y sin que el borde anterior del asiento ejerza presión sobre la cara posterior del muslo. Los muslos deben estar en posición horizontal formando un ángulo de 90° con las piernas y el tronco. Se toma la medida horizontalmente, posicionando la rama fija del segmómetro sobre la cara posterior del glúteo, sin comprimirla, y la rama móvil en la depresión poplítea (permaneciendo en contacto, a su vez, con la cara posterior del muslo).	Segmómetro y goniómetro  *Figura 13 Dimensión BPL*
BKL	Distancia sentado sacro-rodilla	La medición se hace de la misma forma que para BPL pero, en este caso, la escuadra se posiciona sobre el punto correspondiente al vértice de la rótula.	Segmómetro y goniómetro  *Figura 14 Dimensión BKL*

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Sobre la base de la población estudiantil en estudio, y para llevar adelante un análisis estadístico detallado y visualización de datos, se definirá una muestra representativa con un porcentaje de confianza del orden del 95 %.

Para calcular el tamaño de la muestra nos basamos en la siguiente fórmula que tiene en cuenta el nivel de confianza deseado, el tamaño de la población, el margen de error y la proporción estimada de la población (Odunaiya, Owonuwa y Oguntibeju, 2014).

Fórmula General para el Cálculo del Tamaño de la Muestra

$$n = \frac{Z^2 \cdot p \cdot (1-p)}{E^2}$$

donde:

- Z = Puntaje Z correspondiente al nivel de confianza (por ejemplo, 1.96 para un nivel de confianza del 95%).
- p = Proporción estimada de la población (a menudo 0.5 si se desconoce).
- E = Margen de error deseado (por ejemplo, 0.05 para un margen de error del 5%).

Para el cálculo se tendrá en cuenta los siguientes datos obtenidos de la Dirección Académica de la Facultad Regional Santa Fe:

- **Población Total**: Define el número total de estudiantes de grado durante el año 2023 en la Facultad Regional Santa Fe es de 2375 alumnos.
- **Tamaño de la Muestra**: Usa una fórmula de muestreo para calcular el tamaño de la muestra necesario para obtener una confianza del 95%.

Para nuestro caso particular, el tamaño de la muestra 2375 alumnos en el año 2023 se calcula de la siguiente manera:

- Nivel de Confianza: 95% (Z = 1.96)
- Proporción Estimada (p): 0.5 (escenario peor para el tamaño máximo de la muestra)
- Margen de Error (E): 0.05

Por tanto, el tamaño de muestra requerido n es de unos 385 alumnos.

Ajustes para Poblaciones Finitas

Se ajustará el tamaño de la muestra utilizando la corrección para población finita de acuerdo con la siguiente formula: $n_{adj} = \frac{n}{1 + \frac{n-1}{N}}$

donde:

- n = Tamaño de muestra inicial (385).
- N = Tamaño de la población (2375).

El tamaño de muestra ajustado n_{adj} es aproximadamente 331 alumnos, para una población de 2375 alumnos, con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%. Con los datos obtenidos se confeccionarán tablas en Excel o mediante el software IBM SPSS Statistics 20 y, aplicando conceptos de estadística descriptiva, se calcularán medidas como la media, mediana, moda, desviación estándar, rango y percentiles para cada variable. boxplots y diagramas de dispersión para visualizar la distribución de los datos. y diagramas de dispersión para visualizar la distribución de los datos.

5. CONCLUSIONES

La aplicación de un protocolo de mediciones antropométricas del estudiantado permitirá relacionar los resultados obtenidos con los diferentes diseños de mobiliarios utilizados en las aulas, discutiendo su relevancia y posibles implicaciones desde el punto de vista ergonómico, con identificación de posibles modificaciones para mejorar la comodidad y permitir una postura natural de los alumnos al sentarse.

6. REFERENCIAS

Asociación Internacional para los Avances de la Cineantropometría (ISAK). (s.f.). *Valoración antropométrica*.

Emin Kahya. (2019). I*nternational Journal of Industrial Ergonomics, Mismatch between classroom furniture and anthropometric measures of university students.* https://doi.org/10.1016/j.ergon.2019.102864

International Organization for Standardization. (2018). *NTE/ISO 7250-1:2018. Medidas básicas del cuerpo humano para el diseño tecnológico. Parte 1: Definiciones de las medidas del cuerpo y referencias*. ISO.

Milian, J., Cheves, P., & Borjan Leiva, M. (2014). *Manual de medidas antropométricas*. Publicaciones Saltra.

Mondelo, P., Gregori, E., & Barrau, P. (2021). *Ergonomía 1: Fundamentos*. Editorial Médica Panamericana.

Odunaiya, N. A., D. D. Owonuwa, and O. O. Oguntibeju. (2014). *"Ergonomic Suitability of Educational Furniture and Possible Health Implications in a University Setting."* Advances in Medical Education and Practice 5: 1.

Parvez, MS, Rahman, A., y Tasnim, N. (2019). Desajuste ergonómico entre la antropometría de los estudiantes y el mobiliario de las aulas universitarias. *Theoretical Issues in Ergonomics Science , 20 (5), 603–631.* https://doi.org/10.1080/1463922X.2019.1617909

Tucci, Víctor; Scardanzan, Luciano; Faba, Emilce; Rodriguez, Ma. Elvira; Alvarez, Gabriela. (2024). Estudio ergonómico del mobiliario educativo en UTN Santa Fe. *XVI COINI 2023 – Congreso Internacional de Ingeniería Industrial*. San Nicolás, Argentina.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo desean agradecer a Vanina Zandoná, por su compromiso, dedicación y gran aporte realizado en la presente publicación.

"VALUACIÓN DE EMPRESAS: ASPECTOS PARTICULARES DE LAS NUEVAS EMPRESAS TECNOLÓGICAS"

Couselo Romina Evelin - Williams Eduardo Ariel - Pendón Manuela Mercedes

Facultad de Ingeniería U.N.L.P.
romina.cpuselo@ing.ilp.edu; williams@ing.unlp.edu.ar; manuela.pendon@ing.unlp.edu.ar

RESUMEN

La valoración precisa de empresas tecnológicas es esencial para fomentar la inversión y respaldar decisiones estratégicas. Este trabajo explora en profundidad las metodologías de valoración empresarial, con un enfoque particular en las empresas tecnológicas.
Se presenta un análisis teórico de los diversos métodos de valoración, y se aplica una metodología basada en rendimientos esperados a un caso práctico: una empresa de portería virtual. A través del empleo de información secundaria y primaria, se busca demostrar la viabilidad y utilidad de esta metodología en la valuación de empresas tecnológicas innovadoras.
Los resultados de este estudio contribuyen a la comprensión de los desafíos y oportunidades inherentes a la valoración de empresas en un sector tan dinámico como el tecnológico, proporcionando herramientas valiosas para inversores, emprendedores y analistas financieros.

Palabras Claves: valuación, empresas, tecnológicas

ABSTRACT

Accurate valuation of technology companies is essential to encourage investment and support strategic decisions. This paper explores business valuation methodologies in depth, with a particular focus on technology companies.

A theoretical analysis of the various valuation methods is presented, and a methodology based on expected returns is applied to a case study: a virtual door entry company. Through the use of secondary and primary information, we seek to demonstrate the feasibility and usefulness of this methodology in the valuation of innovative technology companies.

The results of this study contribute to the understanding of the challenges and opportunities inherent in the valuation of companies in a sector as dynamic as the technology sector, providing valuable tools for investors, entrepreneurs and financial analysts.

Keywords: valuation, companies, technology

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Características de las empresas tecnológicas

Las empresas tecnológicas han revolucionado la forma en que vivimos y trabajamos. Su capacidad para adaptarse rápidamente a los cambios tecnológicos y las demandas del mercado las convierte en entidades únicas y dinámicas. Este trabajo tiene como objetivo proporcionar una visión profunda de las características que definen a estas empresas y cómo estas características influyen en su valoración.

1.2. Características Distintivas de las Empresas Tecnológicas

Dinamismo y Adaptabilidad: Las empresas tecnológicas operan en entornos altamente volátiles y competitivos. Su capacidad para adaptarse rápidamente a los cambios tecnológicos y las demandas del mercado es fundamental para su supervivencia y crecimiento.

Innovación Continua: La innovación es el motor que impulsa a las empresas tecnológicas. La inversión constante en investigación y desarrollo es crucial para mantener una ventaja competitiva.

Agilidad y Flexibilidad: Las empresas tecnológicas suelen tener estructuras organizativas más planas y procesos de toma de decisiones más ágiles, lo que les permite responder rápidamente a las oportunidades y desafíos del mercado.

Intangibles de Valor: Los activos intangibles, como la propiedad intelectual, las marcas, las relaciones con los clientes y el talento humano, representan una parte significativa del valor de una empresa tecnológica.

Modelo de Negocio Escalable: Muchas empresas tecnológicas tienen modelos de negocio altamente escalables, lo que les permite crecer rápidamente con inversiones relativamente bajas.

Riesgo y Recompensa: El alto potencial de crecimiento de las empresas tecnológicas también implica un mayor riesgo. La incertidumbre sobre el futuro del mercado y la competencia intensa pueden afectar significativamente su desempeño.

2. OBTETIVO

El objetivo del trabajo es presentar en forma teórica las metodologías de valuación de empresa en general, y de valoración de empresas en particular para empresas de tecnología. Y aplicar la metodología adecuada de valuación de empresas mediante rendimientos esperados a una empresa de servicio de portería virtual en el mercado mexicano con sede en gran parte de Latinoamérica.

3.ALCANCE

Se utilizará información secundaria para exponer el marco teórico de valuación de empresa. Este trabajo se centra en las características distintivas de las empresas tecnológicas que las diferencian de las empresas tradicionales y cómo estas particularidades influyen en su valoración. Se presentará un caso práctico de una empresa de portería virtual para ilustrar cómo aplicar los principios de valoración en un contexto real.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Proceso de valuación de empresas.

La valoración de empresas es un proceso complejo que requiere de una comprensión profunda de los fundamentos teóricos y de las particularidades de cada sector. No se limita a un simple cálculo numérico, sino que implica una evaluación integral de la empresa, considerando tanto factores cuantitativos como cualitativos.

Pasos a seguir en el proceso de valorar una empresa:

-Se debe definir el Propósito y Objetivo de la Valoración

Propósito: ¿Cuál es el motivo de la valoración? ¿Es para una fusión, adquisición, venta, inversión, planificación sucesoria, etc.?

Objetivo: ¿Qué se busca determinar con la valoración? ¿El valor de mercado, el valor en libros, el valor intrínseco?

-Alcance de la Valoración Empresa a valorar: ¿Se valorará toda la empresa o una unidad de negocio específica?

-Periodo de valoración: ¿Se valorará la empresa en un momento específico o se realizará una valoración histórica?

-Moneda de valoración: ¿En qué moneda se expresará el valor de la empresa?

-Recopilación de Información

- Información financiera: Estados financieros históricos y proyectados, presupuestos, etc.
- Información sobre la industria: Análisis del sector, tendencias del mercado, competidores, etc.
- Información sobre la empresa: Historia de la empresa, estrategia, ventajas competitivas, riesgos, etc.
- Información sobre el mercado: Condiciones económicas generales, tasas de interés, inflación, etc.

-Selección del Método de Valoración

-Análisis Cualitativo

Ventajas competitivas: Identificar las fortalezas y debilidades de la empresa.

Riesgos: Evaluar los riesgos a los que está expuesta la empresa.

Potencial de crecimiento: Analizar las perspectivas de crecimiento futuro de la empresa.

-Cálculo del Valor

-Aplicación de los métodos seleccionados: Se aplican los métodos de valoración seleccionados a los datos recopilados.

-Ajustes: Se realizan ajustes a los resultados obtenidos para reflejar factores cualitativos y específicos de la empresa.

4.1.1. Los principales enfoques de valoración

Enfoque Patrimonial: Este enfoque se centra en el valor contable de los activos de la empresa, ajustando por factores como la depreciación, la obsolescencia y el valor de mercado de los activos. Si bien proporciona una base sólida, no captura el valor generado por los activos intangibles, como la marca o la reputación.

Enfoque de Mercado: Este enfoque compara la empresa a valorar con empresas similares cotizadas en bolsa, utilizando múltiplos de valoración como el PER (precio por utilidad) o el EV/EBITDA (valor de empresa/EBITDA). La elección del múltiplo adecuado dependerá de las características específicas de la empresa y del sector.

Enfoque de Ingresos: Este enfoque se basa en la proyección de los flujos de caja futuros de la empresa y su descuento a una tasa que refleja el riesgo de la inversión. El método más utilizado es el descuento de flujos de caja descontados (DCF).

Enfoque Mixto: donde se destaca la importancia de combinar los diferentes enfoques de valoración para obtener una estimación más precisa del valor de una empresa. La elección del enfoque mixto adecuado dependerá de las características específicas de cada caso. (Ribeiro, 2010)

4.1.2. Factores Clave a Considerar en la Valoración

Además de los enfoques mencionados, se subraya la importancia de considerar los siguientes factores en la valoración de empresas:

Activos Intangibles: La marca, la reputación, la tecnología y el capital humano son activos intangibles que pueden representar una parte significativa del valor de una empresa.

Riesgo: El riesgo asociado a la inversión en una empresa debe ser cuidadosamente evaluado y reflejado en la tasa de descuento utilizada en el cálculo del valor presente neto.

Ciclo de Vida de la Empresa: La etapa en la que se encuentra la empresa (inicio, crecimiento, madurez o declive) influirá en su valoración.

Sector: Las características específicas de cada sector pueden afectar los múltiplos de valoración utilizados y los factores clave a considerar.

4.2. Enfoque de Ingresos

El enfoque de ingresos parte del principio de que el valor de una empresa es el valor presente de los flujos de caja futuros que generará. Es decir, se proyectan los ingresos y gastos futuros, se calcula el flujo de caja libre y este se descuenta a una tasa que refleja el riesgo de la inversión.

Algunas ventajas del enfoque de ingresos son que considera tanto los aspectos cualitativos como cuantitativos de la empresa, como su estrategia, gestión, mercado y entorno competitivo. Además, que permite incorporar diferentes escenarios y supuestos, lo que lo hace adaptable a diversas situaciones. Se basa en principios financieros sólidos y es ampliamente utilizado en la práctica.

Pero también existen algunas desventajas de éste método y son la dependencia de proyecciones, la precisión de la valoración depende en gran medida de la calidad de las proyecciones de ingresos y gastos futuros, lo cual puede ser complejo y subjetivo. La elección de la tasa de descuento adecuada es crucial y puede tener un impacto significativo en el resultado de la valoración. La definición del horizonte temporal de proyección puede influir en el resultado de la valoración.

4.2.1. Pasos para aplicar el enfoque de ingresos

Proyección de flujos de caja: Se proyectan los flujos de caja libres de la empresa para un periodo determinado (generalmente de 5 a 10 años).

Cálculo del valor terminal: Se estima el valor de la empresa al final del período de proyección, considerando su crecimiento a largo plazo.

Cálculo de la tasa de descuento: Se determina la tasa de descuento que refleja el riesgo de la inversión. Esta tasa suele ser el costo promedio ponderado de capital (WACC).

Descuento de flujos de caja: Se descuentan los flujos de caja proyectados y el valor terminal a la tasa de descuento para obtener el valor presente neto (VPN).

Suma del VPN y el valor contable: El VPN se suma al valor contable de los activos netos para obtener el valor total de la empresa. (Cevallos, 2016)

4.3. Método del Descuento de Flujos de Caja Descontados (DCF)

El método DCF es el más utilizado dentro del enfoque de ingresos. Consiste en los siguientes pasos:

Proyección de flujos de caja libres: Se proyectan los flujos de caja libres de la empresa para un periodo determinado.

Cálculo de la tasa de descuento (WACC): Se calcula el costo promedio ponderado de capital, que refleja el costo de la deuda y del capital propio de la empresa.

Descuento de flujos de caja: Se descuentan los flujos de caja proyectados a la tasa de descuento para obtener el VPN.

Cálculo del valor terminal: Se calcula el valor terminal de la empresa, que representa el valor de la empresa a partir de un determinado período en adelante.

Suma del VPN y el valor terminal: Se suma el VPN y el valor terminal para obtener el valor intrínseco de la empresa. (Terra, 2008)

4.3.1. Limitaciones y Consideraciones Adicionales

Incertidumbre: Las proyecciones de flujos de caja están sujetas a una gran incertidumbre, lo que puede afectar la precisión de la valoración.

Complejidad: El método DCF puede ser complejo de aplicar, especialmente para empresas con estructuras de capital complejas o con activos intangibles significativos.

Dependencia de supuestos: Los resultados de la valoración dependen en gran medida de los supuestos utilizados en las proyecciones y en el cálculo de la tasa de descuento.

4.4. Enfoque de mercado

El enfoque de mercado es una de las metodologías más utilizadas en la valoración de empresas tecnológicas. Este enfoque se basa en la premisa de que el valor de una empresa puede estimarse comparándola con otras empresas similares que han sido objeto de transacciones en el mercado.

El enfoque de mercado se sustenta en la idea de que el mercado es el mejor juez del valor de una empresa. Al analizar las transacciones de empresas comparables, se pueden identificar patrones de valoración y aplicarlos a la empresa que se desea valorar.

4.4.1. Ventajas del enfoque de mercado

Objetividad: Se basa en datos de mercado reales, lo que le otorga una mayor objetividad.

Sencillez: Es un método relativamente sencillo de aplicar, especialmente cuando se dispone de información de mercado suficiente.

Actualidad: Refleja las condiciones de mercado actuales y las expectativas de los inversores.

4.4.2. Desventajas del enfoque de mercado

Dependencia de la comparabilidad: La precisión del método depende de la identificación de empresas verdaderamente comparables, lo cual puede ser difícil en algunos casos.

Ciclos de mercado: Los múltiplos de valoración pueden verse afectados por los ciclos económicos y las burbujas especulativas.

No considera factores internos: No profundiza en los aspectos internos de la empresa, como su estrategia, gestión o potencial de crecimiento.

4.4.3. Pasos para aplicar el enfoque de mercado

Identificación de empresas comparables: Se seleccionan empresas que operen en el mismo sector, tengan un tamaño similar y estén en una etapa de desarrollo comparable.

Cálculo de múltiplos: Se calculan los múltiplos de valoración relevantes para las empresas comparables (por ejemplo, PER, EV/EBITDA, Precio/Ventas).

Selección del múltiplo adecuado: Se elige el múltiplo que mejor represente las características de la empresa a valorar y del sector en el que opera.

Aplicación del múltiplo: Se aplica el múltiplo seleccionado a la variable financiera correspondiente de la empresa a valorar (por ejemplo, beneficios, EBITDA, ventas).

Ajustes: Se pueden realizar ajustes al múltiplo para reflejar las diferencias entre la empresa a valorar y las empresas comparables. (Fernández, 2004)

4.4.4. Múltiplos de Valoración más Utilizados

PER (Precio por Utilidad): Relaciona el precio de la acción con las utilidades por acción.

EV/EBITDA (Valor de Empresa/EBITDA): Relaciona el valor de la empresa (incluyendo deuda) con el EBITDA.

Precio/Ventas: Relaciona el precio de la acción con las ventas.

Precio/Libro: Relaciona el precio de la acción con el valor contable por acción.

4.4.5. Limitaciones y Consideraciones Adicionales

Heterogeneidad de las empresas: Las empresas, incluso dentro del mismo sector, pueden tener características muy diferentes, lo que dificulta la identificación de empresas verdaderamente comparables.

Cambios en el entorno: Las condiciones del mercado pueden cambiar rápidamente, afectando los múltiplos de valoración.

Activos intangibles: El enfoque de mercado puede subestimar el valor de los activos intangibles, como la marca, la tecnología o el capital humano.

4.5. Enfoque Patrimonial

Este enfoque se basa en la premisa de que el valor de una empresa es igual a la diferencia entre el valor de sus activos y el valor de sus pasivos. En otras palabras, el valor de una empresa se calcula sumando el valor de todos sus activos tangibles e intangibles y restando el valor de sus deudas.

4.5.1. Ventajas del enfoque patrimonial:

Sencillez: Es un método relativamente sencillo de aplicar, ya que requiere información que se encuentra fácilmente en los estados financieros de la empresa.

Conservador: Tiende a subestimar el valor de la empresa, lo que puede ser conservador en algunos casos.

4.5.2. Desventajas del enfoque patrimonial

Limitado: No considera el valor generado por los activos intangibles, como la marca, la tecnología o el capital humano, que pueden representar una parte significativa del valor de una empresa.

Valor contable vs. valor de mercado: El valor contable de los activos puede diferir significativamente de su valor de mercado, especialmente en el caso de activos intangibles.

No considera el futuro: No tiene en cuenta las expectativas de crecimiento futuro de la empresa.

4.5.4. Pasos para aplicar el enfoque patrimonial

Identificación de los activos y pasivos: Se identifican todos los activos y pasivos de la empresa, tanto tangibles como intangibles.

Valoración de los activos: Se asigna un valor a cada activo, generalmente basado en su valor contable o en su valor de mercado si este es conocido.

Valoración de los pasivos: Se calcula el valor de los pasivos de la empresa.

Cálculo del valor neto: Se resta el valor total de los pasivos del valor total de los activos para obtener el valor neto de la empresa. (Ribeiro, 2010)

4.5.5. Limitaciones y Consideraciones Adicionales

Activos intangibles: El enfoque patrimonial no captura adecuadamente el valor de los activos intangibles, que pueden ser una fuente importante de ventaja competitiva.

Valor contable vs. valor de mercado: El valor contable de los activos puede no reflejar su valor de mercado, especialmente en el caso de activos fijos y activos intangibles.

No considera el futuro: El enfoque patrimonial se centra en la situación actual de la empresa y no considera las expectativas de crecimiento futuro.

4.6. Enfoque mixto

El enfoque mixto en la valoración de empresas representa una evolución natural en la disciplina, combinando lo mejor de los enfoques tradicionales (patrimonial, mercado e ingresos) para obtener una valoración más precisa y completa.

Reconoce que cada enfoque individual tiene sus fortalezas y limitaciones. Al combinar varios enfoques, se obtiene una visión más holística de la empresa, mitigando los riesgos asociados a cada método individual.

4.6.1. Ventajas del enfoque mixto

Complejidad: Captura la complejidad de las empresas modernas, que a menudo combinan activos tangibles e intangibles y operan en entornos dinámicos.

Precisión: Al combinar diferentes perspectivas, se reduce la incertidumbre en la valoración.

Flexibilidad: Permite adaptar la metodología a las características específicas de cada empresa.

4.6.2. Pasos para aplicar el enfoque mixto

Selección de los enfoques: Se seleccionan los enfoques más adecuados para la empresa en cuestión, considerando sus características y el objetivo de la valoración.

Aplicación de cada enfoque: Se aplica cada enfoque de forma independiente, obteniendo una valoración para cada uno.

Análisis de los resultados: Se comparan los resultados obtenidos en cada enfoque, identificando las posibles discrepancias y buscando explicaciones.

Asignación de ponderaciones: Se asignan ponderaciones a cada enfoque, reflejando la importancia relativa de cada uno en la valoración final. (Ribeiro, 2010)

Cálculo de la valoración final: Se calcula la valoración final como una combinación ponderada de las valoraciones obtenidas en cada enfoque.

4.6.3. Ejemplo de aplicación del enfoque mixto

Imaginemos que queremos valorar una empresa de tecnología. Podríamos aplicar los siguientes enfoques:

Enfoque de mercado: Comparar la empresa con otras empresas cotizadas en bolsa y aplicar múltiplos de valoración como el EV/EBITDA.

Enfoque de ingresos: Proyectar los flujos de caja futuros y descontarlos a una tasa adecuada para obtener el VPN.

Al considerar diferentes enfoques, se puede obtener una mejor estimación del riesgo asociado a la inversión. Permite adaptar la metodología a las características específicas de cada empresa y a los objetivos de la valoración. Presentar un rango de valoes a tener en cuenta para luego definir el precio en el período de negociación, M&E.

4.7. Precio y valor

El precio es la cantidad finalmente acordada entre comprador y vendedor para llevar a cabo la transacción de compraventa.

El valor de un producto o servicio está asociado a un conjunto de particularidades y de eventos coyunturales, asociados al mismo. En consecuencia, existen distintos valores para diferentes perfiles de compradores y, también, para el vendedor.

Estos conceptos aplican de manera general, incluso cuando se trata de la compra o venta de una empresa. En este caso, la diferencia entre precio y valor se debe a distintas razones, entre las que destacan el futuro del sector y de la empresa, estrategias, economías de escala o de complementariedad, factores tecnológicos.

El valor se refiere a la percepción que tienen los clientes sobre el producto o servicio que se le ofrece. Es un análisis subjetivo que varía según las personas, y abstracto. No depende de leyes como la oferta y la demanda, depende de la apreciación personal. El valor de una marca no es tan volátil como el precio.

El precio de una empresa es determinado, en algunos casos, por la oferta y la demanda. Si hay más compradores que vendedores, entonces el precio de la empresa sube. Por otro lado, si hay más vendedores que compradores, el precio de la empresa tenderá a caer.

El valor de una empresa estará determinado principalmente por su capacidad para generar ingresos y beneficios en el futuro. Para analizar el valor de una empresa, se deben considerar muchos factores, como las perspectivas económicas generales, la historia reciente de la empresa y las tendencias del sector en el que opera.

5.RESULTADO

5.1. Caso Práctico

La necesidad de una valoración precisa: Ante la salida de un socio de Portería Virtual, una empresa innovadora en el sector de la seguridad, se hace necesaria una valoración objetiva y fundamentada. Esta presentación explora los métodos utilizados para determinar el valor de la compañía, con un enfoque especial en el método de múltiplos, ampliamente utilizado en el sector tecnológico.

5.1.1. Descripción de la Empresa

Origen y misión: Fundada en 2016 por un grupo de socios con amplia experiencia en tecnología, Portería Virtual se ha posicionado como un referente en soluciones de seguridad innovadoras, simplificando la vida de sus clientes a través de tecnología de punta.

Modelo de negocio: La empresa ofrece un servicio de portería virtual que reemplaza los sistemas de seguridad tradicionales, brindando mayor seguridad y eficiencia a un menor costo.

Diferenciación: Portería Virtual se destaca por su tecnología altamente personalizable, su enfoque en el cliente y su capacidad para adaptarse a las últimas tendencias del mercado.

5.1.2. Análisis del Sector y Tendencias

Evolución del mercado de la seguridad: El sector está experimentando una transformación hacia soluciones tecnológicas más eficientes y personalizadas.

Crecimiento del mercado de la seguridad electrónica: Se presenta un análisis de las tendencias del mercado, mostrando el creciente interés en soluciones de seguridad electrónica.

Posicionamiento de Portería Virtual: Se destaca cómo la empresa se alinea con estas tendencias y aprovecha las oportunidades del mercado.

5.1.3. Metodología de Valoración: Enfoque de Múltiplos

Justificación del método: Se utilizó el método mixto con el método de múltiplos ya que es adecuado para valorar empresas tecnológicas en etapa de crecimiento y el de ingresos con un flujo de fondos descontado.

5.1.4. Aplicación de los Múltiplos a Portería Virtual

Cálculo de los múltiplos: Se calculan los múltiplos para Portería Virtual utilizando los datos financieros proporcionados (EBITDA, EBIT).

Rango de valoración: Se establece un rango de valoración basado en los múltiplos calculados y en la comparación con empresas similares.

5.1.5. Metodología de Valoración

5.1.5.1. Análisis de Múltiplos

Benchmarking: Se ha realizado una comparación con empresas similares del sector, utilizando datos de NIMBO AG, para establecer un rango de múltiplos de referencia.

Aplicación a Portería Virtual: Los múltiplos seleccionados se han aplicado a los datos financieros de Portería Virtual para obtener una valoración inicial.

5.1.5.2. Nimbo

Su función principal es proporcionar herramientas y datos para que los propietarios de negocios puedan tomar decisiones informadas sobre el valor de sus compañías.

NIMBO cuenta con una extensa base de datos que recopila información sobre transacciones reales de compraventa de empresas. Esta información incluye los múltiplos utilizados en cada transacción, lo que permite establecer rangos de valoración para diferentes sectores y tamaños de empresas.

Al analizar una gran cantidad de transacciones, NIMBO puede identificar los múltiplos más comunes y relevantes para cada sector. Estos múltiplos sirven como puntos de referencia para valorar empresas similares.

Tabla 1 Múltiplos por industria para empresas entre 6 y 25 empleados en el mercado de México. Fuente NIMBO

INDUSTRIA	Múltiplo del EBITC	Múltiplo EBIT	Múltiplo EBITDA	Volumen de negocios múltiples
Software/ Servicios IT	4.3	6	5.7	1.6
Industria productora	3.5	4.3	4.1	1.1
Servicios	3.5	4.6	4.4	1.2
Gastronomía	3.6	5.9	5.6	1.1
Comercio	3.2	4.2	4	0.7
Construcción/ Artesanía	2.7	3.3	3.1	0.7

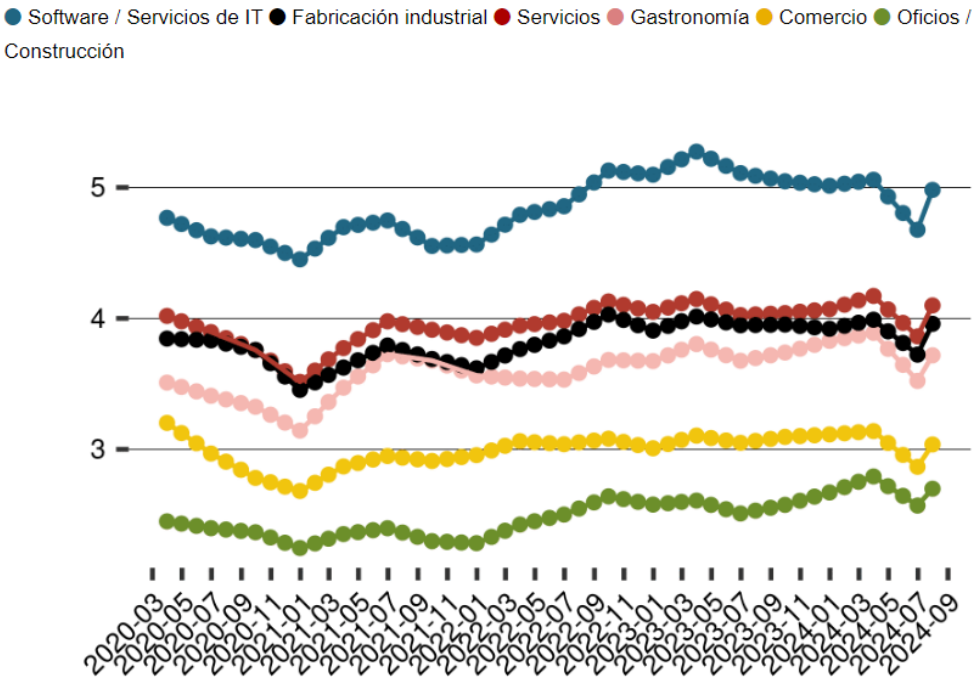


Figura 1 Evolución de los múltiplos EBITC a lo largo del tiempo – 6 a 25 empleados en México. Fuente NIMBO

5.1.5.3. Determinación de múltiplos

Además de obtener múltiplos del mercado ya definidos, se puede determinar el múltiplo teniendo en cuenta la tasa que puede ser representada por el costo promedio ponderado del capital, o tasa de costo de oportunidad, ROA, entre otra como ser la tasa de descuento que se utilizaría para el caso de descontar los flujos de fondos futuros proyectados para determinar un valor actual del negocio.
La utilidad antes de intereses e impuestos y amortizaciones, EBITDA de USD 98 mil y un EBIT de USD 63 mil. Se determinó el costo promedio ponderado del capital- WACC s sigla en inglés- del 16.5%,

EBITDA/Tasa= 98.000/16.5%= 593.939 USD
Valor de la Anualidad/ EBITDA= 6

EBITDA /Tasa= 98.000/20%=490.000 USD
Múltiplo de 5

Tabla 2 Tasa, EBITDA, Anualidad y Múltiplo

Tasa	EBITDA	Valor Anualidad	Múltiplo
20%	98.000	490.000	5
16.5%	98.000	593.939	6
14.28%	98.000	686.275	7
11.48%	98.000	853.659	9

5.1.5.4. Resultados del valor de la empresa utilizando múltiplos

Tomando los múltiplos del mercado- NIMBO como referencia, explicados en el siguiente apartado -, los resultados arrojados por la empresa mexicana de portería virtual fueron los siguiente:

Valoración con múltiplo EBIT: EBIT x múltiplo EBIT = 68.000 x 6 = 408.000 USD

Valoración con Múltiplo EBITDA: EBITDA x Múltiplo EBITDA = 98.000 x 5,7 = 558.600 USD

Valoración con Múltiplo EBITC: EBITC x Múltiplo EBITC = (98.000 + 40. 000) x 4.3 = 593.400 USD

Los pasivos financieros se deducen para calcular el valor de los fondos propios. Como se muestra, distintos múltiplos de valoración pueden dar lugar a resultados diferentes.

5.1.6. Proyección de Flujos de Caja

Identificar los flujos de caja relevantes: En el caso de Portería Virtual, se considerarían principalmente los ingresos por servicios, los costos operativos y las inversiones necesarias.

Construir un modelo financiero: Se crea un modelo financiero que proyecte estos flujos de caja para un período determinado, por ejemplo, los próximos 5 años.

Considerar el crecimiento: Se deben considerar las tasas de crecimiento esperadas para los ingresos y los costos, basadas en el análisis del mercado y el plan de negocio de la empresa.

5.1.6.1. Seleccionar una Tasa de Descuento

WACC (Costo Promedio Ponderado del Capital): En este caso, se ha utilizado un WACC del 16.5%. Esta tasa refleja el costo promedio de los fondos utilizados para financiar la empresa y se utiliza como tasa de descuento para los flujos de caja futuros.

Considerar el riesgo: La tasa de descuento debe reflejar el riesgo inherente a la inversión en Portería Virtual. Un WACC más alto indica un mayor riesgo y, por lo tanto, un descuento mayor de los flujos de caja futuros.

5.1.6.2. Descontar los Flujos de Caja

Calcular el valor presente de cada flujo de caja: Cada flujo de caja proyectado se divide por el factor de descuento (1 + WACC) elevado a la potencia del número de períodos hasta el que se proyecta el flujo.

Sumar los valores presentes: Se suman todos los valores presentes de los flujos de caja para obtener el valor presente neto (VPN) de la empresa.

5.1.6.3. Valor Terminal

Calcular el valor terminal: Al final del período de proyección, se estima un valor terminal para la empresa, que representa el valor de todos los flujos de caja futuros a partir de ese momento. Este valor se descuenta al presente utilizando la misma tasa de descuento.

5.1.6.4. Valoración Final

Sumar el VPN y el valor terminal: El valor final de la empresa será la suma del VPN y el valor terminal.

5.1.6.5. Ventajas del Método DCF

Valoración intrínseca: El DCF proporciona una valoración basada en los fundamentos de la empresa y no depende de las valoraciones de mercado.

Flexibilidad: Permite incorporar diferentes supuestos y escenarios para analizar la sensibilidad de la valoración.

Enfoque a largo plazo: Considera el valor a largo plazo de la empresa, más allá de los resultados a corto plazo.

5.1.6.6. Limitaciones del Método DCF

Dependencia de las proyecciones: La precisión de la valoración depende en gran medida de la calidad de las proyecciones de los flujos de caja.

Estimación de la tasa de descuento: La elección de la tasa de descuento puede tener un impacto significativo en el resultado final.

Complejidad: El cálculo del DCF puede ser complejo y requiere de conocimientos especializados en finanzas.

En el caso de Portería Virtual, el método DCF proporciona una valoración complementaria a la obtenida mediante los múltiplos. Al combinar ambos enfoques, se obtiene una visión más completa del valor de la empresa.

5.1.6.7. Resultados del valor de la empresa con el método de flujo de fondos

Para la confección del flujo de fondos proyectados se tuvieron en cuenta los análisis de mercado, contexto, plan de negocios con estrategias, objetivos, visión, planificación de la empresa. Por las características cambiantes del mercado, y particularidades de innovación y crecimiento, es difícil poder

proyectar, pero se realiza para tener otro valor más, además de los múltiplos y aportar a poder definir con todos los valores determinados según los múltiplos, el precio.

Tabla 3 Flujo de fondos proyectados en Dólares de la empresa

	2025	2026	2027	2028	2029
Ingresos	164.080	188.390	251.507	368.784	849.865
Costos directos	25.630	30.524	45.870	56.784	60.855
Utilidad	138.450	157.866	205.637	312.000	789.010
Costos indirectos	83.230	96.989	125.209	216.256	268.950
Valor de recupero					478.720
Flujo de fondos	55.220	60.877	80.428	95.744	998.780

El valor actual neto del flujo de fondos proyectado fue de USD 582.396 en el 2024, tomándose como el valor de la empresa según los resultados futuros generados por la misma.

5.1.7. Resultados finales de valoración de empresa

Los resultados arrojados por los diferentes múltiplos, presentan los distintos valores que se exponen en la siguiente tabla

Método de valoración	Valoración USD
Múltiplo EBIT	408.000
Múltiplo EBITDA	558.600
Múltiplo EBITC	593.400
Flujo de fondos proyectado descontado	582.396

Es importante mantener una comunicación abierta y transparente entre los propietarios de la empresa que se quedan y aquel que quiere vender su parte, para discutir y obtener la aprobación y que busquen llegar a un acuerdo que sea justo y beneficioso para ambas partes.

Los compradores, actuales dueños de la empresa, debe evaluar su interés en adquirir la participación del vendedor y considerar cómo esta adquisición encaja en su estrategia empresarial y financiera.

El comprador debe definir claramente las condiciones de la transacción, incluyendo el proceso de pago, las garantías, las cláusulas de no competencia, entre otros aspectos relevantes.

6. CONCLUSIONES.

La valoración de empresas tecnológicas requiere un enfoque holístico que considere tanto los aspectos cuantitativos como cualitativos. Los inversores deben ser conscientes de las características únicas de estas empresas y utilizar una combinación de métodos de valoración para tomar decisiones informadas.

Es importante analizar y trabajar sobre herramientas que ayuden a conocer desde todos los niveles a la empresa.

Una de las principales ventajas del multiplicador EBITDA por sectores es que es simple, rápido y económico. En particular, esto es así si se compara con otros métodos que requieren mayor complejidad y esfuerzo económico.

El método está basado en información que proviene de operaciones que verdaderamente se generaron en el mercado entre inversores. Por lo que le da objetividad al valor de la empresa. Es un buen valor de referencia para poder verificar los resultados de otros métodos que se pueden utilizar para valuar empresas.

Por todas estas razones, se puede ver que este método de valoración presenta grandes ventajas.

Con relación a las desventajas, el problema más importante es si se asume la comparabilidad de empresas que no son comparables. Es decir, se da por sentado que ciertas empresas tienen la misma rentabilidad, el mismo crecimiento, o el mismo riesgo, cuando eso no es siempre así.

Los resultados arrojados por los diferentes múltiplos calculados para determinar el valor de la empresa de portería virtual, fueron los siguiente: USD 408.000. USD 490.000. USD 558.600, USD 582.396 y USD 593.400. Y utilizando el método de flujo de fondos descontados, el valor fue de USD 582.396. Por lo que las partes deberán acordar, mediante un proceso de negociación, el precio dentro de los valores tomados como referencia.

Por todo esto, es recomendable además de utilizar estos múltiplos, realizar una valoración de descuento de flujo de caja para tener otros valores y así determinar un rango de valor donde luego se pueda negociar entre las partes, el precio. Las partes deberán acordar y llegar a un punto en común. La clave del acuerdo, más allá de las valoraciones que haya podido hacer cada uno, dependerá del proceso de negociación.

7. REFERENCIAS.

Araya, C., Aznar Bellver, T., Cevallos Varela, J., & Valoración, D. (2016). Valoración de empresas. Métodos y casos prácticos para pequeñas y medianas empresas. Editorial Universidad Politécnica de Valencia

Fernández, P. (2004). Valoración de empresas: Cómo medir y gestionar la creación de valor. Gestión 2000.

Giménez Zuriaga, I. (2023). *Valoración de empresas y otros activos* (1.ª ed.). Editorial Aranzadi.

López Martínez, F. J., & Martínez López, F. J. (2014). Valoración de empresas: Una introducción práctica. Libros de Cabecera. San Francisco

Pereyra Terra, M. (2008). Valoración de empresas: una revisión de los métodos actuales [Documento de trabajo No. 41]. Universidad ORT Uruguay. Facultad de Administración y Ciencias Sociales.

Ribeiro, R. (2008). Valoración de empresas: Fundamentos y práctica en mercados emergentes. KPMG. Montevideo, Uruguay.

"DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÉTODO PARA LA ELABORACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE UN PROGRAMA DE PRODUCCIÓN. CASO DE ANÁLISIS"

Bonaiutti Ricardo (1); Patiño Macarena Belinha (1); Rubiolo Gino Sebastián (1); Carrizo José Francisco (1)

Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional (1)
GICCAP "Grupo de Investigación en Control Avanzado de Procesos y Producción
bcarrizo@frc.utn.edu.ar, jabet@frc.utn.edu.ar, mpatino@frc.utn.edu.ar, rbonaiutti@frc.utn.edu.ar, ginosebastianrubiolo@gmail.com

RESUMEN

En el marco del proyecto de investigación denominado "Desarrollo e Implementación de un método para la elaboración y optimización de un programa de producción. Caso Metalúrgica Oliva S.A." se busca desarrollar un método eficiente para la elaboración de los programas de producción desde una perspectiva sistémica.

Los sistemas productivos están inmersos en un sistema más general que es la propia organización de la que son parte, la elaboración de un programa presenta no solo el desafío de abastecer la demanda a través de la producción, también la identificación de todos los procesos involucrados y sus relaciones. Identificar cada uno de los inputs y su correcta gestión es primordial para el éxito de la programación. Desarrollar un método exitoso involucra también la utilización de herramientas tecnológicas que sean accesibles para la organización desde una perspectiva económico y de fácil empleo.

La propuesta del método surge a partir de la necesidad de la organización Metalúrgica Oliva S.A. quien presenta dificultades al momento de realizar la programación de uno de sus productos más vendidos en el mercado. Como propuesta por parte del grupo de Investigación en Control Avanzado de Procesos y Producción (GICAPP) perteneciente a la Facultad Regional Córdoba de la Universidad Tecnológica Nacional se plantea el diseño un método que permita abordar un programa integral, utilizando todos sus recursos eficientemente y así garantizar la sustentabilidad en el mercado industrial que es cada vez más exigente y competitivo.

Palabras Claves: Programa de producción, Método, Desarrollo, Implementación, Enfoque sistémico

ABSTRACT

In the context of the research project called "Development and Implementation of the method for the preparation and optimization of a production program – Case Metalurgica Oliva S.A. The aim is to develop an efficient method for preparing production programs from a systemic perspective.

Production systems are immersed in a more general system that is the organization of which they are part. The development of a program presents not only the challenge of supplying demand through production, but also the identification of all the processes involved and their relationship. Identifying each of the inputs and their correct management is essential for the success of the programming. Developing a successful method also involves the use of technological tools that are accessible to the organization from an economic perspective and easy to use.

The proposal of the method arises from the need of the organization Metalurgica Oliva S.A. who has difficulties when programming one of their best – selling products on the market. As a proposal by the Research Group in Advanced Control of Processes and Production (GICAPP) belonging to the Córdoba Regional Faculty of the National Technological University, it is proposed to design a method that allows addressing a comprehensive program, using all its resources efficiently and thus guaranteeing the sustainability in the industrial market that is increasingly demanding and competitive.

Keywords: Production program, method, development, implementation, systemic approach.

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto de investigación denominado “Desarrollo e Implementación de un Método para la Elaboración y Optimización de un Programa de Producción. Caso de Análisis” tiene por objetivo el desarrollo de una herramienta alternativa a las ya existentes con un enfoque sistémico de la gestión de un programa de producción. El siguiente trabajo pretende poner en evidencia la situación actual de la organización y sus dificultades al momento de programar la producción de un determinado producto para posteriormente desarrollar un método como ya se mencionó que permita una correcta identificación y gestión de las áreas involucradas en el proceso productivo, de los recursos utilizados como materiales, recursos humanos, tecnología, etc. de las necesidades del mercado, estableciendo las relaciones entre cada uno de los procesos para mejorar la eficiencia y así obtener beneficios económicos, oportunidades de crecimiento, mejoras en el clima laboral, la comunicación y el posicionamiento de la marca. Surge como desafío a lo largo del proceso el carácter interdisciplinario de la investigación, donde convergen distintos profesionales como ingenieros industriales, programadores, analistas de mercado que deberán cada uno de ellos desde su área trabajar en conjunto para diseñar un método que promete mejoras, organización y simplicidad al momento de abordar la difícil tarea de programar la producción.

2. ANTECEDENTES

Para las organizaciones del nuevo milenio, es imprescindible contar con una adecuada gestión de los procesos productivos, llamada también Administración de Operaciones, pues esto aumenta la productividad en organizaciones generadoras de bienes y servicios a nivel mundial. Es en la actualidad un aspecto medular para muchas empresas que comprenden la importancia de administrar correctamente sus recursos humanos, materiales, financieros, entre otros; además de los beneficios que pueden derivarse de estas prácticas (Astudillo-Rodríguez C, et al., 2018, p. 93).

La Administración de Operaciones es uno de los ejes fundamentales del desarrollo empresarial, al cual se suma el poder de las tecnologías de información para lograr sistemas de gestión de información ampliamente utilizados en las empresas actuales, uno de los sistemas más utilizados y difundidos en la actualidad son los conocidos como sistemas de Planificación de Recursos Empresariales (ERP por sus siglas en inglés Entreprise Resource Planning) (Astudillo-Rodríguez C, et al., 2018, p. 94).

(Díaz Martínez et al., 2018, como se citó en Schwab., 2016) De la multitud de diversos y fascinantes retos de hoy en día, lo más intenso e importante es cómo entender y dar forma a la nueva revolución tecnológica 4.0.

Actualmente se encuentra en el inicio de una revolución que está cambiando de manera fundamental la forma de vivir, trabajar y relacionarnos unos con otros. Se necesita comprender cómo millones de personas están conectadas entre sí por dispositivos móviles, dando lugar a bastante información almacenada y a un conocimiento sin precedentes (Diaz-Martinez M, et al., 2018, p. 3).

(Diaz Martínez et al., 2018, como se citó en Gómez., 2013) Se evidencian los cambios en las industrias marcadas por nuevos modelos de negocio, equipos como impresoras 3d, automatización, inteligencia artificial, robótica, etc. El uso de nuevas tecnologías para mejorar los sistemas de producción como los sensores y simuladores de procesos industriales. Por otro lado, surge una incertidumbre al querer adoptar las nuevas tecnologías a una organización y esto puede ser por la necesidad de un alto costo por la adquisición de equipo automatizado, capacitación de personal, mejoras de las redes de comunicación, nuevos servidores robustos, trato con proveedores; sin embargo, aun existiendo esta incertidumbre las nuevas tecnologías han traído mejoras en los procesos industriales y tiempos de entrega del producto final, ya que con la intervención de la industria 4.0 el objetivo es tener un mejor control de información desde que se realiza un pedido, durante el proceso y entrega al cliente final (Diaz-Martinez M, et al., 2018).

El concepto de Industria 4.0 es relativamente reciente y se refiere a la cuarta revolución industrial que consiste en la introducción de las tecnologías digitales en la industria. Estas permiten que dispositivos y sistemas colaboren entre ellos y con otros, permitiendo modificar los productos, los procesos y los modelos de negocio (Diaz-Martinez M, et al., 2018).

El sector industrial está desempeñando un papel cada vez más importante a nivel mundial. Se considera un motor de la innovación, crecimiento y estabilidad social. Sin embargo, la competencia es cada vez más intensa. Los clientes demandan productos de alta calidad y personalizados, con un tiempo de producción menor. (Diaz-Martínez M, et al., 2018).

Sólo aquellos que logren conseguir productos customizados y que reduzcan el tiempo de producción, con la máxima eficiencia en sus plantas, serán capaces de ser competitivos. La solución está en la unión del mundo real y virtual, es decir, la industria 4.0 (Diaz-Martinez M, et al., 2018).

Es por esto que es fundamental para el éxito empresarial contar con un sistema que centralice los datos y los proporcione de manera ordenada, estandarizada y con un alto índice de precisión.

Debido a que la planificación de recursos empresariales se está convirtiendo en una de las principales estrategias para lograr la competitividad en los negocios, resulta importante tener procesos integrados, que permitan identificar retrasos al momento de realizar una venta, necesidad de adquirir materiales o el estado de una factura. Para ello el uso de los sistemas ERP se torna fundamental para la integración de todas las unidades funcionales de la empresa y más aún cuando el uso de estos sistemas comprende la estandarización de procesos y optimización de recursos (Cornejo-Meza G, et al., 2018, p. 17)

Todo este proceso no consta de solo la instalación de la solución, por el contrario, el proceso denominado implementación de una ERP, es totalmente complejo y de alto impacto en la organización, debido que, en la mayoría de casos, la empresa debe acondicionar sus procesos, con mayor probabilidad en las P, donde suele encontrarse procesos no estandarizados. Además, tener en cuenta que existe la común relación entre adquisición de una ERP y alta inversión, ocasionando que un bajo número de Pymes opten por el desarrollo de un proyecto de esta magnitud (Cornejo-Meza G, et al., 2018).

El éxito del sector empresarial depende de lo acertadas que sean las decisiones y lo que se puede alcanzar con cada una de ellas, sobre todo se busca que las tomas de decisiones se encuentren basadas en información producto de datos previamente procesados y centralizados, de tal forma que el análisis de ellos no represente un problema o genere retrasos. Para ello, existe una gran variedad de herramientas tecnológicas para alcanzar el objetivo. Dentro de este rubro se encuentran los sistemas denominados Entreprise Resource Planning (ERP) (Cornejo-Meza G, et al., 2018, p. 17).

Según Francesc Martí Picó (2010) citado por (Cornejo-Meza G, et al., 2018) las ventajas que ofrece la implementación de un sistema ERP son:

- Control de la operación.
- Eficiencia administrativa.
- Eficiencia en productividad.
- Eficiencia en servicio a clientes.
- Capacidad de reducción de costos operativos.
- Soporte en la toma de decisiones.
- Visibilidad de las operaciones.

(Ravi et al., 2015 como se citó en Cornejo-Meza et al., 2018) Si bien los sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP) provienen de los sistemas de información de gestión y han sido desarrollados para ayudar a las empresas a mejorar su rendimiento, integrando y centralizando toda la información de sus áreas funcionales. Existen proyectos de implementación de ERPs que no alcanzan el éxito, donde la tasa de fracaso se encuentra entre el 60% y 90%, debido a que los usuarios se resisten al cambio y no aceptan los nuevos sistemas.

Los inconvenientes planteados al momento de la aplicación de un sistema ERP según Francesc Martín Picó (2010) citado por (Cornejo-Meza G, et al., 2018) son:

- Considerar que la implementación suele ser larga, cara y difícil.
- La implementación puede costar varias veces más que la licencia.
- La empresa tiene que adaptar sus procesos al sistema.
- Dependencia de un solo proveedor.
- La fijación de un estándar a veces lleva a adoptar el mínimo común denominador.
- Imponer un sistema ERP desde arriba puede ser un gran error.
- Empresas cambiantes y altamente descentralizadas no deben usar un ERP.
- Algunos proveedores se han especializado solo en ciertas industrias.

Toda empresa, en sus actividades cotidianas, requiere de información ágil, confiable y oportuna para tomar decisiones adecuadas en la gestión de sus diferentes áreas. Las grandes empresas, disponen de sistemas de información a través de los llamados Sistemas de Información Gerencial (SIG). Las pequeñas y micro empresas, carecen de sistemas de información para su gestión empresarial (Cornejo-Meza G, et al., 2018).

Esto se puede deber a las dificultades económicas que sufren las Pymes de nuestro país y la falta de una mirada sistémica desde una perspectiva de gestión que involucra claramente el área operativa, también influyen el desconocimiento, la falta de formación y escasez de recursos humanos y económicos para acceder a las mismas.

La implementación de un sistema ERP suele ser muy cara, larga y difícil; puede llegar a costar varias veces más que la licencia. Los vendedores pueden hacer pagar sumas de dinero demasiado elevadas para la renovación de las licencias anuales, no relacionadas con el tamaño de la empresa o de sus ganancias. Estos sistemas pueden ser vistos como poco flexibles y con dificultades de adaptarse al flujo de los trabajadores y del proceso de negocio en algunas compañías, esto suele ser una de las principales causas del fracaso en su implantación (Arroyo Fernández, 2018, p. 26).

Por estos motivos creemos que el aspecto económico es muy relevante lo que nos lleva a querer elaborar un método adaptable a cada empresa y cuya implementación y mantenimiento sea accesible para las empresas.

3. DESARROLLO

3.1 Objetivos

Como objetivo general el siguiente trabajo de investigación pretende desarrollar e implementar un método para la elaboración u optimización de un programa de producción para las pymes del sector industrial metalmecánico de la ciudad de Córdoba. El trabajo se realizará a través de un estudio de caso, la empresa seleccionada se trata de la Metalúrgica Oliva S.A. y nos centraremos en la fabricación de cocinas de hogar.

Tabla 1 Objetivos específicos del proyecto

N°	Objetivos específicos
1.	Determinar la situación general actual del caso de estudio frente a la administración de los programas de producción.
2.	Seleccionar y valorar los inputs necesarios para la elaboración del método.
3.	Diseñar un método que permita la ejecución de un programa de producción para el caso de estudio.
4.	Diseñar un plan de capacitación para la implementación del método diseñado
5.	Implementar el método
6.	Describir, evaluar y valorar las soluciones implementadas por el método.
7.	Transferir herramientas, metodológicas y estrategias estudiadas, evaluadas y/o diseñadas tanto al sector Pyme como al seno de la cátedra involucrada.
8.	Difundir los resultados y conclusiones obtenidos al ámbito científico y académico mediante su presentación y publicación en congresos.
9.	Formar recursos humanos mediante el sistema de becas de alumnos y graduados, así como a través de la directora de trabajos de práctica supervisada.

3.2 Metodología

El modelo adoptado para llevar adelante este proyecto de investigación es a partir del estudio de caso. Su elección está fundamentada en la necesidad de contar con un diseño que se adapte a la problemática analizada y pueda permitir estudiar su complejidad. Para indagar las cuestiones alineadas en los objetivos de estudio, se procederá a desarrollar una investigación empírica de tipo cuali-cuantitativa. A su vez, la presente será una investigación aplicada, “se trata de investigaciones encaminadas a la resolución de problemas, que se caracterizan por su interés en la aplicación y utilización de los conocimientos. Los resultados de estas investigaciones tienen un margen de generalización limitado” (Ander Egg, 2011, p. 91).

Inicialmente la investigación a realizar será de tipo exploratoria y descriptiva buscando definir la situación actual del caso de estudio. Luego se convertirá en una investigación de carácter analítico, para avanzar a una etapa experimental donde se llevará a cabo la implementación del método. Finalmente, la investigación tratará de evaluar y describir cuáles fueron los resultados obtenidos luego de la aplicación del método (durante todo el proceso).

El principal software a utilizar en este proyecto será Microsoft Excel, debido a que es un software accesible y económico que la gran mayoría de las Pymes disponen.

Para el cumplimiento del objetivo específico 1 que corresponde a una etapa exploratoria se propone la utilización de las siguientes cuatro técnicas:

Observación directa

La utilización de esta técnica se llevará a cabo en el ámbito operativo de la organización.

Revisión documental

La revisión documental estará centrada en la búsqueda de aquella información que nos permita conocer y entender cómo llevan a cabo la tarea de programar y todo lo que compete de manera periférica a dicho proceso.

Entrevistas

La misma se llevará a cabo con el objetivo de recabar información a través de personal que pertenece a la organización y desde la perspectiva de un nivel estratégico y táctico. El tipo de entrevista será semiestructurada, se definirá de manera precisa y anticipada un guion temático sobre lo que se desea abordar con el entrevistado.

Encuestas

La misma se llevará a cabo con el objetivo de recabar información a través del personal operativo de la organización. El tipo de encuesta será cerrada permitiendo de este modo realizar la misma a un gran número de personas.

Para el cumplimiento del objetivo específico 2 se deberán identificar todos los insumos necesarios para la elaboración del programa de producción. Una vez que los inputs son identificados se procederá a realizar una valoración de los mismos donde se utilizará a modo de apoyo una check list con el fin de verificar la existencia de los mismos en la organización.

Para el cumplimiento del objetivo específico 3 se procederá a realizar tablas diseñadas con un formato preestablecido que se utilicen para la carga de los inputs definidos previamente y faciliten la migración de datos a la aplicación que se desarrollará bajo la metodología *“Diseño Rápido de Aplicaciones (RAD)”*.

Para el cumplimiento del objetivo específico 4 Se procederá a realizar 2 planes de capacitación. El primero será en función de las necesidades detectadas en la situación general de la organización y el segundo será de carácter obligatorio y consistirá en la capacitación en el uso de la aplicación desarrollada en el proyecto. Para ambos planes de capacitación se deberá definir:

1. Lugar donde se llevará adelante la capacitación
2. Cuando se realizará la capacitación
3. Quién será la persona/s que realizarán la capacitación
4. Quienes dentro de la organización deberán recibir la capacitación

Para el cumplimiento del objetivo específico 5 se realizará la implementación del método elaborado se seguirá una metodología de investigación acción participativa: Esta metodología implica la participación activa de los actores involucrados en la implementación del método en el proceso de investigación. Esto puede incluir la colaboración con los usuarios finales del método y otros grupos de interés, y la implementación de acciones y evaluaciones conjuntas para mejorar su efectividad y adaptabilidad

Para el objetivo 6 se procederá a realizar una descripción de las soluciones a implementar y luego se desarrollará e implementará un modelo de medición e indicadores que se adecue a las características propias del caso de estudio, con el objetivo de verificar el cumplimiento en la implementación del método y su evolución. Se elaborará un cuadro de mando integral, definiendo los objetivos a alcanzar en cada una de las perspectivas propuestas por Kaplan y Norton (2002) (balanced ScoreCard)

identificadas y realizando las mediciones de los mismos a través del desarrollo de indicadores y una carta del indicador para visualizar la evolución del mismo.

En lo que respecta al objetivo específico 7 la transferencia de herramientas, metodologías y estrategias estudiadas, evaluadas y/o diseñadas es una oportunidad valiosa para mejorar los procesos y prácticas tanto en el Sector Pyme como en el seno de la cátedra involucrada. Al identificar las necesidades específicas y diseñar un plan detallado de transferencia, se pueden maximizar los beneficios para ambas partes y asegurar una efectiva transferencia de conocimientos y habilidades.

En lo que respecta al objetivo específico 8 la participación en diversos congresos de ingeniería puede ser una oportunidad para dar a conocer los resultados obtenidos en la comunidad científica. Es importante identificar aquellos congresos que estén relacionados con el tema a tratar para una mejor llegada a la comunidad interesada y nosotros poder neutrinos con los diferentes proyectos que participan en esos congresos.

En lo que respecta al objetivo específico 9 la universidad es una fuente de talentos altamente capacitados, quienes en muchos casos carecen de experiencia laboral. El sistema de becas tanto para alumnos como para las prácticas supervisadas puede ser una buena manera de sumar estudiantes o recién graduados a nuestro proyecto brindándoles la experiencia laboral que necesitan para estar listos para enfrentar el mundo profesional. Por otro lado, el proyecto se ve beneficiado al poder acceder a personal que cuenta con alto grado de estudios en el área de ingeniería.

4. CONCLUSIONES

Como conclusión del proyecto se propone el diseño de un método que en primera instancia pueda resolver las dificultades que la organización presenta para la programación de la producción de un producto en particular. Si bien los resultados de esta investigación se estiman con una universalidad acotada dada las características propias de cada producto como de cada organización, el desarrollo del método no impide la utilización del mismo por parte de otras empresas y otras condiciones.

Para el desarrollo del método será necesario centrarse en tres grandes aspectos, las áreas y los procesos involucrados como sus relaciones, los cálculos y la planificación de los plazos del programa y las herramientas tecnológicas entendidas estas como aquellos programas o aplicaciones que permitan el acceso a los datos como su manipulación para la generación de información.

Se espera que el grupo de investigación logre a través de este trabajo transferir al medio el conocimiento que posee en la materia como también contribuir a la consolidación de un vínculo universidad-empresa que incluye interrelaciones complejas. La participación en congresos, jornadas o eventos relacionados con la investigación y la publicación de artículos serán parte de la estrategia para la difusión de los resultados parciales o total a los que se arribe.

Por ultimo cabe destacar que quienes participan de este proyecto son investigadores y docentes que buscan transferir a sus estudiantes conocimiento y experiencias que puedan enriquecer la formación de futuros profesionales. En el caso de aquellos investigadores en formación como becarios estudiantes la participación directa en este tipo de proyectos,genera la experiencia necesaria para en un fututo en el caso de los estudiantes enfrentar con mayor éxito y herramientas el mundo laboral y para los investigadores mejorar sus habilidades y capacidades para la investigación.

5. REFERENCIAS

- Ander Egg, E., (2011) Aprender a investigar: nociones básicas para la investigación social. Córdoba: Brujas.
- Arias Coello, A., (s/f) Unidad didáctica 3: La gestión de los procesos. Facultad de Ciencias de la Documentación. https://webs.ucm.es/centros/cont/descargas/documento10142.pdf
- Arroyo Fernández, M. (2018). Estudio para la implementación de un ERP en una empresa de servicios de impresión. Tesis de Maestría. Universidad Oberta de Catalunya. https://openaccess.uoc.edu/handle/10609/73026

- Astudillo Rodríguez, C., Crespo Martínez, E., & Andrade Dueñas, I. (2018). UDA - ERP: Emprendimiento y Gestión de recursos empresariales. La llave para la vinculación empresarial. Memorias Y Boletines De La Universidad Del Azuay, 1(XIV), 92–106. https://doi.org/10.33324/memorias.v1iXIV.182
- Casarín, M., Céspedes, L., Guzmán, V., y Irastorza, R. (2020). De la arcilla a la nube escribir ciencia: normas y estrategias. Córdoba, Argentina: Centro de estudios avanzados.
- Cornejo Meza, G., Gamarra Chumbiauca, L., y Velásquez Núñez, A., (2018). Modelo de Implementación de ERP Open Source para Pyme del Sector Automotriz. Tesis de Maestría. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/625006
- Crainer, S., Obeng, E. (1994). Reingeniería de la Empresa. Folio S.A.
- Chapman, Stephen. (2006). Planificación y Control de la producción. Pearson.
- De Meyer, A., Wittenberg-Cox, A. (1994). Nuevo Enfoque de la Función de Producción. Folio S.A.
- Díaz Martínez, M.A., Cruz Méndez, A.L., & Ruiz Domínguez, H.S.. (2018). Instrumento de diagnóstico y autoevaluación para medir las condiciones organizacionales hacia la nueva revolución industrial 4.0. RIIIT. Revista internacional de investigación e innovación tecnológica, 6(35) Recuperado en 09 de mayo de 2023, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-97532018000500002&lng=es&tlng=es.
- Gaither, N., Frazier G. (2000). Administración de la Producción y Operaciones. Thomson.
- Gallegos, M. (2009). Desarrollo de un Sistema de Planificación de la Producción para la Elaboración de Telas Lycra, Algodón y Poliéster en una Empresa Textil. Universidad Técnica de Ambato.
- Kaplan, R. S., Norton, D. P. (2002). El cuadro de mando integral. (2ed.). Barcelona, España: Ediciones Gestión 2000.
- Krajewski, L., Ritzman, L., (2000). Administración de Operaciones. Prentice Hall.
- Lemarchand, G. (2010) Sistemas nacionales de Ciencia, tecnología e innovación, en América Latina y el Caribe. Estudios y documentos de política científica en ALC, (1) UNESCO.
- Noori, H., Radford, R. (1999). Administración de Operaciones y Producción. Prentice Hall.
- Mallar, M. A., (2010) La Gestión por procesos: un enfoque de gestión eficiente. Revista Científica “Visión Futuro” (13). https://www.redalyc.org/pdf/3579/357935475004.pdf .
- Pérez Fernández de Velasco, J. (2004). Gestión por Procesos. Cómo utilizar ISO 9001:2000 para mejorar la Gestión de la Organización. ESIC.
- Schewab, K. (2016). La Cuarta Revolución Industrial. México: DEBATE.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo de investigación desean agradecer al equipo de trabajo de la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Facultad Regional Córdoba, por su enorme generosidad en compartir su conocimiento y brindarnos su tiempo, también deseamos agradecer a los directivos de la empresa Metalúrgica Oliva S.A. por confiar en nuestro equipo de trabajo.

"ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN MODELO DE VINCULACIÓN ENTRE LAS UNIVERSIDADES Y EL MEDIO PRODUCTIVO DE LA REGIÓN CENTRO"

Carrizo Blanca [1]; Abet Jorge [1]; Gallegos Laura [2]; Cinalli Marcelo [2]; Patiño Macarena [1]; Kunda Beatriz [1]

[1] Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional
GICCAP "Grupo de Investigación en Control Avanzado de Procesos y Producción
bcarrizo@frc.utn.edu.ar, jabet@frc.utn.edu.ar
[2] Facultad Regional San Nicolás, Universidad Tecnológica Nacional
GIMCo "Grupo de Investigación en Gestión, Innovación y Mejora Continua"
mgallegos@frsn.utn.edu.ar; cinalli@frsn.utn.edu.ar

RESUMEN

En el marco del proyecto de investigación denominado "Diseño de un Modelo de Vinculación entre las Universidades y el Medio Productivo de la Región Centro desde la Perspectiva de las Competencias Curriculares de Ingeniería Industrial.", se busca indagar acerca de los sistemas de vinculación universitarios y comprender con mayor detalle cómo se lleva adelante la tarea de transmitir conocimiento en pos de impactar de manera positiva en la sociedad y dar respuesta a diferentes necesidades.

El concepto de Unidad de Vinculación Universitaria, hace referencia a la interfaz entre la Universidad y el medio donde está inserta; el cual demanda asistencia en la resolución de sus necesidades, a través del desarrollo de proyectos que tengan como finalidad, mejorar su calidad de vida. Los sistemas de vinculación son estructuras complejas con múltiples actores que interactúan entre sí. A lo largo de la historia, esta tarea se ha llevado a cabo de diferentes maneras. El desarrollo e implementación de políticas públicas que alienten a la transferencia desde el sector académico ha tenido éxitos y fracasos. En este contexto, se pretende: analizar, describir y diagnosticar modelos de vinculación entre Universidades de la región centro (Córdoba, Santa Fe y Entre Ríos), desde perspectiva de la Ingeniería Industrial, determinando indicadores que reflejen la situación actual y faciliten el diseño de estrategias de gestión.

Esta propuesta, que une dos equipos de trabajo conformado por investigadores pertenecientes a dos Regionales de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN): Facultad Regional San Nicolás (FRSN): GIMCO - Gestión, Innovación y Mejora Continua y Facultad Regional Córdoba (FRC): GICAPP - Grupo de Investigación en Control Avanzado de Procesos y Producción, pretende diseñar un modelo de vinculación entre las Universidades de la región centro: Córdoba, Santa Fe y Entre Ríos, desde la perspectiva de la Ingeniería Industrial como caso de análisis bajo estudio.

Palabras Claves: Región Centro, Modelo de Vinculación, Ingeniería Industrial, Competencias.

ABSTRACT

Within the framework of the research project called "Design of a Linkage Model between Universities and the Productive Environment of the Central Region from the Perspective of Industrial Engineering Curricular Competencies.", the aim is to investigate the university linkage systems and understand in greater detail how the task of transmitting knowledge is carried out in order to positively impact society and respond to different needs.

The concept of University Linkage Unit refers to the interface between the University and the environment where it is inserted; which demands assistance in resolving their needs, through the development of projects that aim to improve their quality of life. Linkage systems are complex structures with multiple actors interacting with each other. Throughout history, this task has been carried out in different ways. The development and implementation of public policies that encourage transfer from the academic sector has had successes and failures. In this context, the aim is to: analyze, describe and diagnose linkage models between Universities in the central region (Córdoba, Santa Fe and Entre Ríos), from the perspective of Industrial Engineering, determining indicators that reflect the current situation and facilitate the design of management strategies.

This proposal, which unites two work teams made up of researchers belonging to two Regional Faculty of the National Technological University (UTN): San Nicolás Regional Faculty (FRSN): GIMCO - Management, Innovation and Continuous Improvement and Córdoba Regional Faculty (FRC): GICAPP - Research Group in Advanced Process and Production Control, aims to design a linkage model between the Universities of the central region: Córdoba, Santa Fe and Entre Ríos, from the perspective of Industrial Engineering as a case of analysis under study.

Keywords: Central Region, Linkage Model, Industrial Engineering, Competencies.

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto de investigación denominado “Diseño de un Modelo de Vinculación entre las Universidades y el Medio Productivo de la Región Centro desde la Perspectiva de las Competencias Curriculares de Ingeniería Industrial”, tiene por objetivo recolectar información relevante a los medios productivos el contexto productivo a partir de una herramienta validada (Gallegos *et al.*, 2022) con el fin de diseñar un modelo de vinculación entre las Universidades de la región centro: Córdoba, Santa Fe y Entre Ríos, desde la perspectiva de la Ingeniería Industrial como caso de análisis bajo estudio desde su vinculación con la carrera de Ingeniería Industrial. El proyecto cuenta con antecedentes concretos: proyecto de investigación articulado entre las regionales UTN-FRC y la UTN-FRSN con trabajos desarrollados por los grupos de investigación GICAPP - Grupo de Investigación en Control Avanzado de Procesos y Producción (Córdoba) y GIMCO- Gestión, Innovación y Mejora Continua- (San Nicolás) (UTN FRC, 2022-2024). Estos dos equipos buscan repensar la vinculación de la región centro desde análisis de los diseños curriculares de la carrera Ingeniería Industrial hasta el diseño de un instrumento operativo para monitorear las actividades de la región desde el seno de la Universidad, con el fin de difundir sus resultados y conclusiones del modelo a fin de mejorar la contribución universidad – empresas y viceversa.

2. ANTECEDENTES

Las provincias de Córdoba y Santa Fe, forman parte de un proceso de integración regional desde el año 1998 a través de la firma del “Tratado de Integración Regional” habilitado por la última reforma constitucional del año 1994. En su Art. 124 habilita a las provincias a crear regiones para su desarrollo económico y social, así como también la de establecer organismos con facultades propias para el cumplimiento de tales fines. Cabe destacar también que, en el año 2006 se constituyó el Consejo de la Sociedad Civil de la Región Centro, integrado por instituciones y entidades no gubernamentales de ambas provincias y en el caso particular de la provincia de Santa Fe, garantiza la democrática participación del sector no estatal para la formulación de políticas dirigidas a la región. Entre los principales objetivos del Tratado de Integración Regional se encuentra la conformación de instrumentos que aseguren la vigencia plena del federalismo, estableciendo una política común de desarrollo abarcando distintos aspectos económicos, sociales, entre otros. El concepto de Unidad de Vinculación Universitaria, hace referencia a la interfaz entre la Universidad y el medio donde está inserta; el cual demanda asistencia en la resolución de sus necesidades. La Unesco, en su artículo primero de la Declaración Mundial sobre la Educación Superior (ES) en el siglo XXI enfatiza este entender, declarando: “la necesidad de preservar, reforzar y fomentar aún más las misiones y valores fundamentales de la educación superior, en particular la misión de contribuir al desarrollo sostenible y el mejoramiento del conjunto de la sociedad”. (UNESCO, 2019). En consecuencia, esta gran responsabilidad implica trabajar en la transformación de la educación superior, formando integralmente ciudadanos competentes, responsables y comprometidos con las necesidades actuales de la sociedad a través del desarrollo de proyectos que tengan como finalidad, mejorar su calidad de vida. “Se trata de investigaciones encaminadas a la resolución de problemas, que se caracterizan por su interés en la aplicación y utilización de los conocimientos. Los resultados de estas investigaciones tienen un margen de generalización limitado (Ander Egg, 2016).

Para el cumplimiento de lo anterior es necesario que en las instituciones de educación superior se logre la incorporación de la Responsabilidad Social (Viteri Moya, Jácome Villacres y Medina León, 2013). La Responsabilidad Social debe ser afrontada como un modelo de gestión que permita a las universidades involucrarse con la sociedad y contribuir al desarrollo humano para la construcción de un entorno inclusivo, equitativo y sustentable, capaz de promover el bienestar de la sociedad (Viteri Moya, et. al, 2013, p. 78). Los sistemas de vinculación (UVT) son estructuras complejas con múltiples actores que interactúan entre si y las universidades como generadoras de conocimiento, tienen un rol clave en la respuesta que los docentes, estudiantes e investigadores dan a los requerimientos formulados por las distintas partes interesadas de la sociedad con las cuales interactúan local o regionalmente. Ahora bien, ¿Cuáles son las oportunidades de mejora a partir del análisis de las partes interesadas?

3. DESARROLLO

¿Cómo es posible asegurar sistemas de vinculación tecnológica en el marco del desarrollo sostenible? En el caso de la provincia de Córdoba se ha puesto foco en la incorporación de diferentes sectores al momento de diseñar las políticas de vinculación tecnológica, propiciando de este modo la comunicación entre quienes integran el sistema, identificando así con mayor facilidad las inquietudes, necesidades y

capacidades de cada parte interesada (*stakeholder*), es decir aquellas “personas u organizaciones que pueden afectar, verse afectada o percibirse como afectada por las decisiones o actividades que realiza nuestra organización”. (IRAM ISO 9000:2015). A lo largo de la historia, esta tarea se ha llevado a cabo de diferentes maneras. El desarrollo e implementación de políticas públicas que alienten a la transferencia desde el sector académico ha tenido éxitos y fracasos.
En la actualidad, a nivel mundial, los grandes desafíos que se presentan para las organizaciones emanan de los apresurados cambios del entorno: la competencia, la globalización, el conocimiento, y la tecnología y los retos de la industria 4.0. Estos demandan urgentes modificaciones en sus estrategias y estructuras en miras de la construcción de un modelo de desarrollo que sea viable para satisfacer a la ciudadanía en su calidad de vida y en un marco sustentable de la igualdad de oportunidades.
Este modelo y su implementación empuja a las organizaciones a prosperar en una gestión integrada de los diversos impactos sociales y económicos de manera equilibrada. En consecuencia, esta gran responsabilidad implica trabajar en la transformación de la educación superior, formando integralmente ciudadanos competentes, responsables y comprometidos con las necesidades actuales de la sociedad.

3.1 Objetivos

Como objetivo general, y en este contexto, se pretende: analizar, describir y diagnosticar modelos de vinculación entre Universidades de la región centro (Córdoba, Santa Fe y Entre Ríos), desde perspectiva de la Ingeniería Industrial, determinando indicadores que reflejen la situación actual y faciliten el diseño de estrategias de gestión, siendo el objetivo general del proyecto. En la Tabla 1 se presentan una síntesis de los objetivos específicos

Tabla 1 Objetivos específicos del proyecto

N°	Objetivos específicos
1.	Describir y analizar los diseños curriculares y competencias de la carrera de Ing. Industrial de todas las universidades de la región centro
2.	Definir y caracterizar el sector socio productivo de cada provincia a analizar
3.	Analizar la pertinencia entre la oferta académica y la demanda del sector socio productivo.
4.	Diagnosticar el grado de correspondencia entre la oferta académica y la demanda de la región centro.
5.	Enunciar estrategias de resolución que permitan optimizar la relación entre la universidad versus oportunidades de la región
6.	Evaluar el uso de otros instrumentos de relevamiento a medida de los requerimientos de escalabilidad del modelo.
7.	Caracterizar la pertinencia de los proyectos de investigación de las universidades con las demandas del sector productivo de la región.
8.	Identificar modelos metodológicos de vinculación existentes en otras regiones.
9.	Evaluar si la oferta académica y las actividades de investigación de las universidades satisfacen las necesidades del sector productivo de la región centro.
10.	Diseñar un instrumento operativo para monitorear las actividades de la región desde el seno de la Universidad.
11.	Transferir herramientas, metodologías y estrategias estudiadas, evaluadas y/o diseñadas tanto a la región centro como a las cátedras involucradas de cada carrera.
12.	Formar recursos humanos mediante el sistema de becas de alumnos y graduados, así como a través de la dirección de trabajos de Práctica Supervisada y Tesis o proyectos finales de carreras de grado.
13.	Difundir los resultados y conclusiones obtenidos al ámbito científico y académico mediante su presentación y publicación en Congresos.

Con el cumplimiento de los objetivos, y como caso de análisis bajo estudio, se pretende diseñar el modelo de vinculación entre las Universidades de la región centro: Córdoba, Santa Fe y Entre Ríos, desde la perspectiva de la Ingeniería Industrial e indagar las cuestiones alineadas en los objetivos de estudio, con una investigación empírica de tipo cuali-cuantitativa.

3.2 Metodología y Etapas

La investigación por realizar será de tipo exploratoria y descriptiva, luego se convertirá en una investigación de carácter analítico, para avanzar a una etapa experimental donde se llevará a cabo la implementación del modelo. Finalmente, la investigación tratará de evaluar y describir cuáles fueron los resultados obtenidos luego de la aplicación del modelo (durante todo el proceso).

Para la realización de este trabajo de investigación se trabaja con los siguientes actores:

- las universidades que dicten la carrera de Ingeniería Industrial,

- el sector industrial de las provincias involucradas
- y el estado (áreas correspondientes que puedan dar información relevante ej ministerios)

Para el cumplimiento de los objetivos 1, 2 y 3 se propone la utilización de las siguientes técnicas:
Revisión documental
La revisión documental estará centrada en la búsqueda de aquella información que nos permita:

- Conocer los programas de la carrera de Ingeniería Industrial en cada universidad, sus competencias y alcances, describiendo similitudes y diferencias entre cada universidad.
- Caracterizar el sector productivo de cada provincia involucrada, estableciendo sus actividades principales y de gran desarrollo, aquellas en proceso o potenciales y las que presentan mayor dificultad.
- Conocer en función del territorio y la subespecialización de la carrera la inserción del profesional.

3.3 Entrevistas

La misma se llevará a cabo con el objetivo de recabar información a través de personal que pertenece a las universidades. El tipo de entrevista será semiestructurada, se definirá de manera precisa y anticipada un guion temático sobre lo que se desea abordar con el entrevistado. Las utilizaciones de softwares estadísticos serán primordiales para abordar con éxito esta etapa.

3.4 Mercado académico

En esta etapa se determinarán las causas que dan origen a los problemas o las necesidades del sector y la capacidad de resolución del sector académico para sus demandas. Será importante identificar con claridad y máxima objetividad dicha situación para poder abordar soluciones concretas de manera eficaz y eficiente en el futuro.

3.5 Contexto productivo-académico

En función de los hallazgos en etapas anteriores, se realizará una propuesta de resolución de problemática existente y frecuente por región en función de los perfiles de la ingeniería industrial que ofrece cada universidad. Se realizará la propuesta de un plan de vinculación de carácter regional contemplando las necesidades, oportunidades y amenazas de cada subregión (provincias), planteando actividades a realizar en cada caso y su respectivo seguimiento.

3.6 Uso de otros instrumentos de relevamiento

Si bien se propone la utilización de técnicas como entrevistas semiestructuradas, encuestas estructuradas y revisión documental acompañando dicho proceso por diferentes softwares, para la región seleccionada, la utilización de otras técnicas para facilitar la recolección a mayor escala será valoradas con el objetivo de ampliar la aplicabilidad del modelo a nivel nacional. La utilización de dispositivos e instrumentos para la recolección de datos ya testeados y su metodología de aplicación, constituyen primeros pasos para especificar el proceso.

3.7 Demandas del sector productivo de la región

El relevamiento y diagnóstico constituyen etapas fundamentales para determinar la factibilidad en la resolución de los problemas o las demandas del medio y las investigaciones realizadas en las unidades académicas de la región, su comparación entre las necesidades de la región y las investigaciones realizadas en las universidades involucradas.

3.8 Modelos metodológicos de vinculación existentes en otras regiones

Al identificar aquellas universidades que realicen vinculación en el país y analizar la metodología de acción entre ellas y el medio socio productivo al cual asiste, se pretende colaborar en el diseño de un modelo regional de la investigación integrado.

3.9 Instrumento operativo de monitoreo

Finalmente, la elaboración de un modelo de medición e indicadores que se adecue a las características del modelo propuesto de vinculación, tiene el objetivo de verificar el cumplimiento en la región de aplicación y su evolución.

4. CONCLUSIONES

Como conclusión del proyecto se propone la elaboración de un tablero de indicadores basado en la metodología de cuadro de mando integral, traduciendo la estrategia planteada en objetivos que se relacionan entre sí, siendo estos medidos a través de los resultado de los indicadores, una vez definido los indicadores determinar la frecuencia de medición de los mismos, la meta a alcanzar por el objetivo y un rango de alerta que ayudara a visualizar en qué medida el resultado de la medición realizada, determinando si se cumple o no con la meta propuesta.

Generar la transferencia de herramientas, metodologías y estrategias estudiadas, evaluadas y/o diseñadas es una oportunidad valiosa para mejorar los procesos y prácticas tanto en la región involucrada como en el seno de la cátedra seleccionada en el cursado de la Ingeniería Industrial.

Al identificar las necesidades específicas y diseñar un plan detallado de transferencia, se pueden maximizar los beneficios para ambas partes y asegurar una efectiva transferencia de conocimientos y habilidades entre ambos sectores con la participación de múltiples universidades, generando así redes de vinculación regional.

Sobre la difusión se los resultados será de importancia la participación en diversos congresos de la temática para dar a conocer los resultados obtenidos. a la comunidad académica interesada, la región productiva, sociedad y estado (partes interesadas).

Como premisa final queremos destacar que la Universidad es una fuente de talentos altamente capacitados, y otros en formación (becarios) quienes en muchos casos carecen de experiencia laboral y puede ser una buena manera de sumar estudiantes o recién graduados al proyecto brindándoles la experiencia laboral que necesitan para estar listos para enfrentar el mundo profesional.

4. REFERENCIAS

Proyecto de Investigación UTN-FRC. (2022-2024). Propuesta académica e-blended para la carrera ingeniería industrial desde el análisis de su diseño curricular centrado en competencias. Directora: Blanca Carrizo. Sede: UTN FR Córdoba.

Gallegos, M. L., Cinalli, M., & Hetze, V. (2022). “Herramientas para relevar competencias en la Práctica Profesional Supervisada de Ingeniería Industrial”, 6° Congreso Argentino de Ingeniería (CADI) y 12° Congreso Argentino de Enseñanza de. Buenos Aires, Argentina. Publicado en Memorias del Congreso Argentino de Educación en Ingeniería: edición 2022. p. 128-133, ISBN 978-987-4050-08-3

Ander Egg, E., (2016) Aprender a investigar: nociones básicas para la investigación social. Córdoba: Brujas. ISBN: 9789875914735

Organización Internacional de Normalización. (2015). Sistemas de gestión de Calidad - Requisitos (ISO 9001:2015). url: https://www.iso.org/standard/62085.html

Viteri Moya, J., Jácome Villacres, M. B., y Medina León, A. (2013) Modelo conceptual para la planificación estratégica con la incorporación de la responsabilidad social universitaria. Ingeniería Industrial, 34(1), 77-86. Recuperado de http://scielo.sld.cu/pdf/rii/v34n1/rii08113.pdf

UNESCO (2019) Migración, desplazamientos y educación: construyendo puentes, no muros DOI: https://doi.org/10.54676/IWWM5074 ISBN: 978-92-3-300109-1 412. Disponible en: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367436

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer al equipo de trabajo de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Facultad Regional Córdoba.

"MODELO PARA LA DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE DIFERENCIAS DE NECESIDADES OPERATIVAS DE FONDOS Y CAPITAL DE TRABAJO EN LA VALUACIÓN DE UNA EMPRESA DE CAPITAL ABIERTO"

Ottaviano, Ivo; Zalazar, Leonel Alejandro

UTN – Facultad Regional La Plata
ivoottaviano@gmail.com
zalazarleonel20115@gmail.com

RESUMEN

En este trabajo de investigación se propone un modelo que permite determinar cuantitativamente las diferencias entre Capital de Trabajo y Necesidades Operativas de Fondos en la valuación de empresas de capital abierto; ya que se suelen considerara los conceptos como fungibles, cuando no lo son.
Este estudio establece la metodología a emplear para determinar las diferencias entre conceptos, y está validado con un caso de estudio de una empresa cotizante en la Bolsa de Buenos Aires. Sin embargo, no permite la aseveración de los resultados, ya que para eso debería trabajarse con una muestra que resulte representativa (propuesto como trabajo futuro).
El modelo propuesto presenta un error absoluto menor al 5% respecto al valor de la empresa que observa el mercado. Se plantea determinar los flujos de caja libre de la empresa dos caminos: uno por cada concepto, y luego trabajar de manera homogénea los restantes pasos para el cálculo del Equity de la empresa, para luego con ello comparar los resultados.
Para la construcción del modelo, se hizo uso de la combinación de varias técnicas y metodologías preexistentes, con el objetivo de determinar el valor de la empresa, considerando ciertos ajustes realizados a fin de intentar demostrar lo propuesto en el trabajo. También se hizo consulta de la inteligencia artificial para colaborar en el cálculo de ciertos parámetros necesarios para la definición del valor de la empresa.

Palabras Claves: Capital de Trabajo, Necesidades Operativas de Fondos, Determinación del Valor de la Empresa.

ABSTRACT

This research paper proposes a model that allows to determine quantitatively the differences between Working Capital and Need of Operating Funds in the valuation of publicly traded companies, since the concepts are often considered fungible, when they are not.
This study establishes the methodology to be used to determine the differences between concepts, and it is validated with a case study of a company listed on the Buenos Aires Stock Exchange. However, it does not allow for the assertion of the results, since, for that purpose, a representative sample should be used (proposed as future work).
The proposed model presents an absolute error of less than 5% in relation to the value of the company observed in the market. It is proposed to determine the Free Cash Flows of the company in two paths: one for each concept, and then working homogeneously through the remaining steps to calculate the Equity of the company. Finally, the results would be compared.
The model was built by combining several pre-existing techniques and methodologies, with the aim of determining the value of the company, making certain adjustments to try to demonstrate what was proposed in the paper. Artificial intelligence was also used in collaboration for the calculation of certain parameters which are necessary to define the value of the company.

Keywords: working capital, operational funding needs, Determining the Value of the Company.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVO DEL TRABAJO

El objetivo principal de este trabajo es el de proponer un modelo que permita determinar de forma cuantitativa las diferencias entre el Capital de Trabajo y las Necesidades Operativas de Fondos, en la valuación de empresas de capital abierto; ya que se los consideran conceptos no fungibles, pese a que en buena parte de la literatura financiera así se los considere. Para esto, se utiliza la combinación de varias técnicas y metodologías preexistentes, con el fin de determinar el valor de una empresa; el modelo se aplica en dos partes: una con el concepto de Capital de Trabajo; y otra con la consideración de las Necesidades Operativas de Fondos, para luego comparar las diferencias de las valuaciones con el valor de mercado actual del precio de la acción de la empresa.

Para validar el modelo, se tomó como caso de estudio una empresa argentina que cotiza en el panel general de la Bolsa de Buenos Aires: Havanna ®; y se fijó como restricción de validación del modelo propuesto que por alguno de los dos caminos de cálculo planteados se debería tener un error menor a 5% en exceso o defecto, respecto al precio de mercado de la acción.

En la Figura 1 se muestra un diagrama que describe el camino propuesto para alcanzar el objetivo anteriormente detallado:

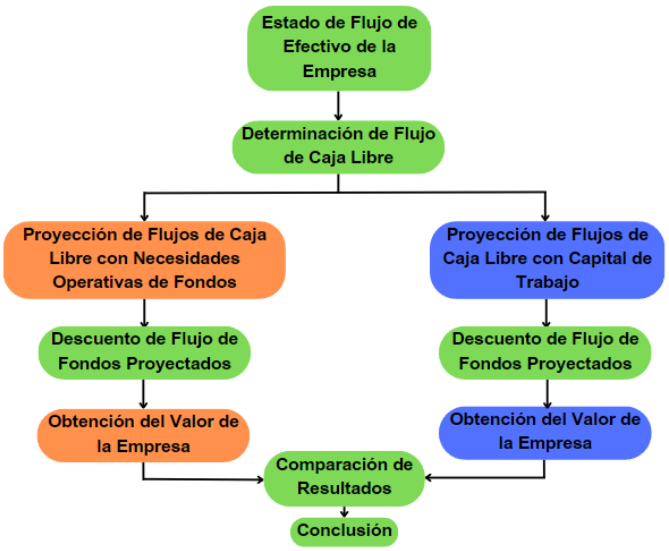


Figura 1. Modelo sintético de estudio planteado. Fuente: Elaboración Propia.

1.2. MARCO TEÓRICO

En la mayoría de los libros de finanzas corporativas, y en muchos trabajo de investigación referidos a la temática, se suelen utilizar a estos conceptos, el Capital de Trabajo y las Necesidades Operativas de Fondos, muchas veces como sinónimos, lo que genera que se preste a confusión, pero son de una naturaleza diferente.

Según lo investigado en el estado del arte actual de la temática, no se encontraron trabajos que midan de manera cuantitativa las diferencias ente estos conceptos, pero sí existe una escasa literatura financiera y publicaciones de trabajos en donde se ponen de manifiesto las dicotomías entre ambas concepciones desde un punto de vista teórico.

1.2.1. DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE CAPITAL DE TRABAJO

El Capital de Trabajo (CT) es un *concepto contable* que responde a una decisión financiera de la empresa. Representa el volumen de recursos que quedan disponibles para financiar las operaciones que ejecuta una organización para cumplir con las operaciones que demanda su objeto social

(Mandagarán Rivas, Formulación y Evaluación de Proyectos - Análisis de inversiones de activos fijos en entornos emergentes, 2022). Su cálculo está dado por:

$$Capital\ de\ Trabajo = Activo\ Corriente - Pasivo\ Corriente \quad (1)$$

Según la Ecuación (1), se puede interpretar que éste es un concepto que se encuentra relacionado a la parte de finanzas estructurales, y no operativas (de allí el hecho de considerarlo como un concepto contable y no económico). En el capital de trabajo se pueden encontrar asientos contables como inversiones en bonos de otras organizaciones (como activo corriente), y retenciones por pagar (como pasivo circulante).

1.2.2. DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE NECESIDADES OPERATIVAS DE FONDOS

En cambio, las Necesidades Operativas de Fondos (NOF) son un *concepto financiero* que impacta en las operaciones cotidianas de la organización. Su variación entre períodos de estudio representan un monto de inversión – o financiamiento, según su signo (respectivamente) – generado por las operaciones de la empresa y que están signados por la estrategia comercial a la política de créditos por ventas y las necesidades de stock (Mandagarán Rivas, Formulación y Evaluación de Proyectos - Análisis de inversiones de activos fijos en entornos emergentes, 2022). De preferirse, se opta por tener un origen de fondos generados por la estrategia comercial, desde el punto de vista financiero; pero esto conlleva una importante observación: en el cálculo del Flujo de Caja Libre (también denominado FCF, por sus siglas en inglés: Free Cash Flow) se debe considerar a la variación entre períodos de este concepto con su respectivo signo, lo que implica lo siguiente:

- ΔNOF >0: la empresa es capaz de solventar la política comercial, por lo cual en el flujo se coloca positivo, y el efecto que esto genera es que el valor final de la organización sea más elevado (al proyectar los flujos de fondos desde el Flujo de Caja Libre).
- ΔNOF <0: la empresa financia con terceros la política comercial establecida, en el flujo se coloca con signo negativo, surtiendo como efecto que el valor final de la organización sea menor en términos relativos a las NOF positivas (al proyectar los flujos de fondos desde el Flujo de Caja Libre).

1.2.3. COMPARACIÓN CONCEPTUAL

A fin de clarificar y resumir las diferencias entre ambos conceptos, se construyó la tabla que se muestra a continuación, y que permite comparar la diferencia de la naturaleza de cada uno:

Tabla 1. Resumen de comparación entre conceptos. Fuente: Elaboración Propia.

Concepto	Capital de Trabajo	Necesidades Operativas de Fondos
Naturaleza	Contable	Financiero
Finanzas en las que impacta	Estructurales	Operativas
Lo define	La empresa (Genoni & Zurita, 2004)	Negociaciones con terceros

A priori, se considera que el concepto que mejor cuadra para el cálculo es el de Necesidades Operativas de Fondos, debido a que comparte la misma naturaleza que la de los flujos de fondos, es decir que ambos son de carácter financiero; además de que se considera que el valor de una empresa radica en lo que es capaz de generar, y esto viene intrínsecamente dado con los niveles de actividad operativa de la organización (que se reflejan en las Necesidades Operativas de Fondos).

1.2.4. VALUACIÓN DE EMPRESAS DE CAPITAL ABIERTO

El valor de una empresa se encuentra supeditado a lo que la misma es capaz de generar. Se decidió utilizar una metodología que considere el valor del dinero en el tiempo, en donde se considera el

principio de que “una unidad monetaria recibida hoy tiene más valor que percibirla en un momento futuro”. Es por esto por lo que resulta necesario proyectar los flujos de fondos, a partir del que se tiene la información disponible a la fecha (FCF del último cierre del ejercicio). Para realizar las proyecciones, es necesario hacer consideraciones sobre cómo será su crecimiento y determinar el costo de capital al cual descontar los flujos proyectados, como rentabilidad exigida por los accionistas.

Según lo determinado por Modigliani y Miller (1963) el valor de mercado de una empresa con deuda (VL) está dado por su Equity (E) - aporte accionario- más la deuda (D) que posee; esta última se toma como el total del pasivo declarado, sea de corto o largo plazo, para obtener el valor del activo neto de la empresa (Genoni & Zurita, 2004).

$$VL = E + D \tag{2}$$

Como es de interés conocer el valor del mercado del aporte accionario E (para calcular el precio de la acción, y con ello cumplir con el objetivo del trabajo), se despeja de la Ecuación (2) la mencionada variable, ya que se conocen o se pueden determinar las restantes:

$$E = VL - D \tag{3}$$

La deuda de la empresa es un dato del cual se dispone en el estado de flujo de efectivo de esta; mientras que el valor de mercado de la empresa con deuda se puede calcular descontando los flujos de caja libre (FCF) proyectados (t) al WACC (por sus siglas en inglés: costo promedio ponderado de capital). Considerando que la empresa tiene una vida útil que excede el horizonte de estudio de proyecciones de flujos, es que se incluye el valor terminal (VT) como reconocimiento de esa actividad futura de la organización (Modigliani & Miller, 1963).

$$E = \sum_{n=1}^{t} \left(\frac{FCF_t}{(1+WACC)^t} + \frac{{}^{VT}/_{(WACC-g)}}{(1+WACC)^t} \right) - D \tag{4}$$

Para determinar el Equity (Ecuación (4)) es necesario determinar los Free Cash Flow proyectados y la tasa de descuento WACC. Para el cálculo de este último se acude a la siguiente ecuación, formulada y desarrollada por el aporte de una serie de autores: Preposición II de Modigliani y Miller (con impuestos) (1958); la fijación de tasas de retornos para el cálculo del costo de capital de Fama (1977); y, por último, el modelo de valoración de activos Capital Asset Pricing Model (CAPM, por sus siglas en inglés) propuesto por Sharpe (1964).

$$\text{WACC} = K_e * \frac{E}{E+D} + K_d * \frac{D}{E+D} * (1 - T) \tag{5}$$

En donde el K_e es el costo de capital empresario, y es el instrumento que permite medir la rentabilidad a solicitar a una inversión, calculando el equilibrio teórico de un activo (no resulta ser más que la exigencia de devolución de dinero, por la renuncia a la que incurre el accionista al consumo en el momento en el que se invierte); y cuya expresión para determinarlo está dada por la Ecuación (6) y cuyos autores son Sharpe (1964), Linter (1965) y Mossin (1966) (Mandagarán Rivas, 2024). Mientras que Kd es el costo de la deuda a valor de mercado (K_d), representado por la Ecuación (7).

$$K_e = R_f + \beta_L * (R_m - R_f) \tag{6}$$

Donde Rf es la tasa libre de riesgo; β_L es el coeficiente de riesgo sistemático apalancado de la empresa; y R_m es el rendimiento del mercado, medido en acciones de la bolsa.

$$K_d = \frac{Intereses\ sobre\ deuda}{Total\ de\ la\ deuda} \tag{7}$$

Para determinar el Free Cash Flow (FCF) y poder calcular el valor del Equity (Ecuación (4)), se plantea seguir la metodología planteada por Cruz, Villareal y Rosillo (2008), para una de las partes del modelo propuesto, según lo establecido en la Figura 1. En esta metodología se parte del EBIT, que son las ganancias antes de impuestos e intereses (por sus siglas en inglés), descontando la tasa efectiva de impuestos (T); se le descuentan las depreciaciones, la variación de capital de trabajo entre ejercicios y las inversiones de capital. Siendo la forma de cálculo la expresada en la siguiente ecuación:

$$FCF = EBIT*(1-T) + Depreciaciones - \Delta Capital\ de\ Trabajo – Inversiones\ de\ Capital \quad (8)$$

La Ecuación (8) en este modelo será utilizada en el caso de determinar el precio de la acción por medio del camino del Capital de trabajo, según lo diagramado en la Figura 1 (bloques en color azul).

2.DESARROLLO

2.1. ANÁLISIS DE FLUJO DE EFECTIVO – CÁLCULO DE CT, NOF Y FCF

Las empresas argentinas que cotizan en la Bolsa de Buenos Aires se encuentran obligadas por ley a hacer pública la información sobre los flujos de efectivos y las aplicaciones de dinero que realizar al llevar a cabo su actividad. Esto permitió que se tenga acceso a información real sobre una empresa que se encuentra operativa en la actualidad. Del estado de flujo consolidado declarado por Havanna ® se obtienen los asientos con los que se calculan el Capital de Trabajo, las Necesidades Operativas de Fondos y el Free Cash Flow.

Más allá de haber seleccionado una empresa argentina que cotiza en la Bolsa de Buenos Aires, se tomó la decisión de trabajar el modelo en dólares estadounidenses, debido a que es más sencillo y confiable obtener información sobre bonos del tesoro y de la inflación proyectada para el período de estudio (en Argentina es muy difícil realizar una estimación de la inflación en el largo plazo, y muchas veces no existen bonos del tesoro para esos horizontes de tiempo); además de que también requiere un menor esfuerzo el cálculo del riesgo sistemático en moneda dura (por tener la información anteriormente mencionada). Esta decisión no afecta a la esencia del modelo, ya que se puede fácilmente hacer las conversiones de moneda; tuvo que ver con simplificar y agilizar el análisis de las mencionadas variables. En particular, el uso del dólar Contado Con Liquidación (CCL) tiene que ver con que está supeditado al intercambio de activos con no residentes argentinos y es sensible al ingreso o egreso de capitales extranjeros a la Argentina (se considera que es uno de los tipos de cambios oficiales que mejor representa el valor real de la cotización de la divisa). El monto en el que cotiza en el momento de la construcción de este trabajo es en $1283 por dólar estadounidense (Diario La Nación, 2024).

Para determinar el Capital de Trabajo, se acudió a la Ecuación (1) (aplicándola como la variación entre los cierres de los ejercicios de 2024 y 2023), de lo que se obtuvo:

$$\Delta Capital\ de\ Trabajo_{2024-2023} = 2.111.617\ [USD]$$

Se propone, en el modelo que se desarrolla en este trabajo, la Ecuación (9) para calcular el FCF con las variaciones de Necesidades Operativas de Fondos (considerando su respectivo signo):

$$FCF = EBIT*(1-T) + Depreciaciones + \Delta NOF – Inversiones\ de\ Capital \quad (9)$$

En la Figura 2 se muestra el Flujo de Fondos construido para determinar el Free Cash Flow (cuya determinación estuvo signada tras la aplicación de la Ecuación (9)) y las Necesidades Operativas de Fondos; para estas últimas, se tomó el criterio de seleccionar a aquellos asientos contables en donde la empresa declara que existen “Cambios en Activos y Pasivos Operativos”, debido a que no se tiene conocimiento sobre la necesidad de asignar recursos para la actividad dada, además de que el modelo que se propone se podría utilizar en empresas de diversos sectores y actividades, cuestión por la cual resulta más sencillo y confiable tomar las actividades que la misma organización declara como operaciones necesarias para llevar adelante su misión.

Concepto		[USD] DÓLAR EEUU 2024	
EBIT		USD	4.775.546
IMPUESTO A LAS GANANCIAS		USD	3.133.015
DEPRECIACIONES		USD	725.522
AJUSTES PARA CONCILIAR RDO INTEGRAL DEL PERÍODO		USD	987.093
NOF	VARIACIÓN DE CRÉDITO POR VENTAS	USD	(218.089)
	VARIACIÓN DE OTROS CRÉDITOS	USD	(1.191.520)
	VARIACIÓN DE BIENES DE CAMBIOS	USD	(1.492.002)
	VARIACIÓN DE CUENTAS POR PAGAR	USD	2.620.797
	VARIACIÓN DE REMUNERACIÓN Y CARGAS SOCIALES	USD	243.870
	VARIACIÓN DE PASIVOS FISCALES Y PAGO DE IMPUESTOS	USD	(2.081.767)
	VARIACIÓN DE OTROS PASIVOS	USD	(129.848)
	RECUPERO DE PROVISIÓN	USD	(22.248)
Flujo de Caja Operativo		**USD**	**7.350.369**

Flujo de Inversiones	USD	(742.311)
FREE CASH FLOW	USD	6.608.059

Figura 2. Desarrollo de Free Cash Flow y Necesidades Operativas de Fondos. Fuente: Elaboración Propia

En resumen, de la figura anterior se determinó el Free Cash Flow es de 6.608.058.781 USD; y la variación de Necesidades Operativas de Fondo se contabilizaron por un total de – 2.270.807 USD (el signo negativo representa que existe un origen de fondos generado por terceros; lo que a priori indica que es probable que el valor de la empresa calculado por el camino de las NOF sea menor que por el de Capital de Trabajo, según lo introducido en el acápite 1.2.2).

2.2. PROYECCIÓN DEL FREE CASH FLOW

La proyección de los flujos de fondos es un requisito necesario para determinar el valor de la empresa, según lo introducido con Modigliani y Miller. Para proyectar los flujos de fondos se toma como punto de partida el Free Cash Flow resultante del último relevamiento de los estados de flujo consolidado declarado por la organización; he aquí una restricción propuesta en este modelo: el nivel de abstracción decidido para esta parte del análisis excluye a aquellos FCF cuyo resultado sea negativo, esto tiene que ver con una simplificación del estudio, ya que no es posible conocer los plazos de recuperación de los resultados de la empresa (debido a que la mayoría de los flujos negativos tienen su génesis en un mayor flujo de inversión que el operativo; en este caso la empresa puede continuar sus actividades -ya que su EBIT es positivo- pero se encuentra en una etapa de inversión para crecer, y es difícil determinar en qué flujo proyectado va a cambiar su signo). Se debe establecer también si el Free Cash Flow se mantendrá constante o sufrirá fluctuaciones durante el horizonte de planeamiento de estudio: en este modelo se va a considerar el efecto de la inflación, debido a que es una empresa que se desarrolla en un contexto de una economía inflacionaria; y una tasa de crecimiento constante para todo el horizonte planificado de estudio, debido a que es una Pequeña y Mediana Empresa (PYME) con la cual se va a trabajar con el supuesto de que tiene una tendencia al alza en el mercado donde se desarrolla.

La inflación que se va a considerar para el horizonte de proyección bajo estudio (5 años en adelante a partir de éste) va a ser la proyectada para los Estados Unidos debido a que se trabaja en la moneda circulante de ese país. En la Tabla 2 se muestra la inflación proyectada con la que se trabaja al caso de estudio, la cual se tomó de una estimación -cuya disponibilidad de acceso es pública- generada por una organización ampliamente reconocida en la actividad.

Tabla 2. Inflación proyectada en USD para el horizonte de planeamiento. Fuente: (Statista, 2024)

Año Proyectado	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inflación	4,1%	2,8%	2,4%	2,2%	2,1%

Como tasa de crecimiento por reinversión se toma el ROE (Return On Equity) generado por la empresa durante el último ejercicio, descontada la parte que se destina a repartir en dividendos (Aguilar Grimaldo,

Yañez Bentacourt, & Varela Castro, 2021). En el caso de Havanna ®, el ROE es de un 16,13%; mientras que en promedio en los últimos años repartió un 40,28% de sus ganancias en concepto de dividendos (calculado sobre los balances presentados por la propia empresa); por lo que la tasa de crecimiento por reinversiones proyectada para la empresa en el horizonte de estudio es del 9,63%, la cual se supone constante para todos los períodos proyectados (al igual que la tasa de dividendos). En la Ecuación (10) se detalla la expresión que se propone utilizar para determinar el FCF de cada período proyectado.

$$FCF_t = (FCF_{t-1}) * (1 + Inflación_t) * (1 + (ROE * (1 - Pago\ en\ Dividendos_t))) \quad (10)$$

Se reconoce con el Valor Terminal (VT) que la empresa va a continuar desarrollando sus actividades más allá del alcance del plazo del horizonte de proyección del modelo. Para su determinación, se toma el último flujo de fondos proyectados y se lo afecta por una tasa de crecimiento a perpetuidad (coeficiente g en la Ecuación (4)); para el caso de estudio que aquí se presenta, se decidió tomar la inversa PER. Esta decisión se basó en que la inversa PER es una buena aproximación para reflejar las expectativas de crecimiento en el largo plazo de la empresa, debido a que se cuenta con escasa información para estimar la tasa de crecimiento. El valor de la tasa de crecimiento a perpetuidad (inversa PER) que se usa, considerando la repartición de dividendos, es de un 1,23%.

Como se propone en este modelo, y según las consideraciones desarrolladas con antelación, se proyecta un FCF construido con las Necesidades Operativas de Fondos (el de la Figura 2), como se muestra en la Figura 3; y otro habiendo descontado las NOF, pero incluyendo la variación de Capital de Trabajo en su lugar (los supuestos de crecimiento e inflación se mantienen invariantes para ambas proyecciones), según lo indicado en la Ecuación (8), que se detalla en la Figura 4.

	FCF ACTUAL	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	VT
FCF Proyectado	USD 6.608.059	**USD 7.541.642**	**USD 8.499.636**	**USD 9.542.047**	**USD 10.691.379**	**USD 11.967.426**	**USD 250.360.835**
Crecimiento	-	*9,63%*	*9,63%*	*9,63%*	*9,63%*	*9,63%*	
Inflación [USD]	-	4,10%	2,80%	2,40%	2,20%	2,10%	

Figura 3. Proyección de FCF considerando la variación de las NOF. Fuente: Elaboración Propia.

	FCF ACTUAL	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	VT
FCF Proyectado	**USD 6.767.248**	**USD 7.723.322**	**USD 8.704.393**	**USD 9.771.917**	**USD 10.948.936**	**USD 12.255.724**	**USD 256.392.076**
Crecimiento	-	*9,63%*	*9,63%*	*9,63%*	*9,63%*	*9,63%*	
Inflación [USD]	-	4,10%	2,80%	2,40%	2,20%	2,10%	

Figura 4. Proyección de FCF considerando la variación del Capital de Trabajo. Fuente: Elaboración Propia.

2.3. RIESGO Y COSTO DE CAPITAL

Con el fin de descontar los flujos de fondos proyectados de la empresa, para así conocer su valor, resulta necesario determinar el costo de capital al cual hay que realizar el descuento. Para esto se hace uso de las ecuaciones (5), (6) y (7). Previo a la aplicación de las mencionadas ecuaciones, es necesario determinar una serie de parámetros que permiten su cálculo: el coeficiente de riesgo sistemático apalancado de la empresa (β_L); y el rendimiento de mercado (R_m) de Estados Unidos, porque se está evaluando en dólares.

Respecto al cálculo del coeficiente de riesgo sistemático de la empresa este es de sencilla determinación mediante el uso de lenguaje de programación Python, dado que la misma está definida por la covarianza de los activos, por tanto, esta se puede determinar frente cualquier mercado seleccionado. En el caso de estudio, se utilizó el SPY500 dado que es uno de los índices más relevantes para medir el comportamiento del mercado de Estados Unidos, muy similar al merval en Argentina, y a que la empresa se está evaluando en dólares; además de que en moneda local se dificulta la determinación del CAPM al estar expuesta a distorsiones por inflación y a la poca oferta de bonos de larga duración en el mercado local. Al determinar el riesgo (β_L) de la empresa frente a este activo (SPY500) se puede mediante la valorización de activos CAPM obtener el costo de capital al cual descontar los flujos de fondos.

Apoyándose en el uso de la inteligencia artificial de NVIDIA ®, CHAT GPT, se generó un código de Python que permite determinar el rendimiento de mercado de Estados Unidos y el riesgo sistemático de la empresa, covariado con el índice bursátil estadounidense (ambos parámetros analizados durante los últimos 5 años; el plazo es el mismo que el del horizonte de proyección). También se hizo uso del Google Collab ® para correr el código y obtener los valores de β_L y R_m, como se muestra en la Figura 5

```python
import pandas as pd
import yfinance as yf

# Get the historical data for SPY and HAVA
end_date = pd.to_datetime('today')
start_date = end_date - pd.DateOffset(years=5)
market = yf.download('SPY', start=start_date, end=end_date)
hava = yf.download('HAVA.BA', start=start_date, end=end_date)

# Calculate the daily returns
market_returns = market['Adj Close'].pct_change()
hava_returns = hava['Adj Close'].pct_change()

# Calculate the covariance and variance of the returns
covariance = market_returns.cov(hava_returns)
market_variance = market_returns.var()

# Calculate the beta
beta = covariance / market_variance

# Calculate the annualized average return for SPY (market)
market_annual_return = (market['Adj Close'][-1] / market['Adj Close'][0]) ** (252 / len(market)) - 1

# Calculate the annualized mean return
trading_days = 252
annual_mean_returns = market_returns.mean() * trading_days

# Print the beta
print(f"The beta of HAVA relative to Market is: {beta}")
# Print the annualized average return
print(f"The annualized average return for Market is: {market_annual_return}")
```

Figura 5. Código de Python usado para la determinación del rendimiento de mercado y el riesgo. Fuente: Chat GPT.

Al correrse el código, se obtuvo que el coeficiente de riesgo sistemático es de un 0,21 (covariando el valor del activo de Havanna ® con el SPY500); y el rendimiento de mercado R_m es de un 16,32% en el plazo analizado de 5 años en retrospectiva.

La tasa libre de riesgo (R_f) de Estados Unidos es un dato público disponible en la web, medido en los bonos del tesoro a largo plazo. La misma se encuentra valorizada en 3,79% al momento de realizar el estudio (Tradingview, Inc, 2024).

Cociendo la tasa libre de riesgo, el coeficiente de riesgo de la empresa y el rendimiento de mercado, por medio de la Ecuación (6) se determina que el costo de capital empresario Ke es de 6,42%.

El cálculo del Kd (Ecuación (7)) fue posible realizarlo debido a que la información necesaria para su determinación se encuentra disponible en los estados de flujos consolidados de la empresa que se somete a estudio. El valor resultante del costo de la deuda Kd es por un 4,33%.

Resulta importante mencionar que resulta razonable los valores de Ke y Kd, debido a que siempre el costo de capital empresario debe ser mayor al de la deuda. Esto se fundamenta en que los accionistas incurren en mayor riesgo al invertir en la empresa, ya que, en el caso de que la empresa presente quiebra, éstos serán los últimos que puedan recuperar su capital invertido, debido a que los acreedores de deuda cuentan con garantías reales, las cuales podrán ejecutar para cobrarse de sus créditos otorgados a la organización (minimizan sus riesgos, y de allí la restricción de que el costo empresario sea mayor al de la deuda).

Como puede notarse, existe una circularidad de cálculo entre la Ecuación (4) y (5), ya que para determinar el valor del Equity, se requieren descontar flujos al WACC, para el cual es necesario conocer el valor del aporte accionario (E). Para resolver esta circularidad, se propone estimar el valor del Equity como el producto entre la cantidad total de acciones circulantes de la empresa y el precio de la acción

de mercado, en el momento de estudio. El precio de la acción -valorizado en dólar CCL al 19 de agosto de 2024- de la empresa sometida a estudio es de 4,51 USD (Investing, 2024); y la cantidad de acciones circulantes declaradas en el estado de flujo consolidado son 46.976.135; por lo que el valor del Equity es estimado en 211.996.743 USD.

Finalmente, tras los anteriores cálculos desarrollados, y considerando que la tasa efectiva de impuestos (T) en Argentina asciende a un 35% (impuesto a las ganancias); que el porcentaje de participación del Equity sobre el total del valor de la empresa ($\frac{E}{\mathrm{E+D}}$) es del 90,23% (la deuda en dólares es por 22.945.175 USD, según lo declarado en el total del pasivo de la empresa); y la participación de la Deuda sobre el valor de la empresa ($\frac{D}{\mathrm{E+D}}$) es del 9,77%; se aplica la Ecuación (5) y se obtiene que el costo promedio ponderado de capital (WACC) al que se debe descontar los flujos de fondos proyectados es de un 6,07%.

2.4. DESCUENTO DE FLUJOS DE FONDOS PROYECTADOS – DETERMINACIÓN DEL VL

Tras determinar los flujos de caja libre proyectados y la respectiva tasa de descuento de estos (WACC = 6,07%), se procede a calcular el Valor Actual Neto (VAN) para cada período proyectado (primer término del segundo miembro de la Ecuación (4)), para así conocer el valor de mercado de la empresa con deuda (VL).

Como se propuso en este modelo trabajar con dos flujos de fondos distintos, se muestra en la Figura 6 el descuento del FCF proyectado para el flujo calculado considerando las NOF; y en la Figura 7 el descuento del FCF calculado con el Capital de Trabajo.

	FCF ACTUAL	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	VT
Free Cash Flow (FCF) Proyectado	USD 6.608.059	**USD 7.541.642**	**USD 8.499.636**	**USD 9.542.047**	**USD 10.691.379**	**USD 11.967.426**	**USD 250.360.835**
Descuento FCF (WACC = 6,07%)		*USD 7.110.130*	*USD 7.554.810*	*USD 7.996.067*	*USD 8.446.567*	*USD 8.913.718*	*USD 186.476.680*

Figura 6. Descuento del FCF proyectado con NOF. Fuente: Elaboración Propia.

	FCF ACTUAL	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	VT
Free Cash Flow (FCF) Proyectado	**USD 6.767.248**	**USD 7.723.322**	**USD 8.704.393**	**USD 9.771.917**	**USD 10.948.936**	**USD 12.255.724**	**USD 256.392.076**
Descuento FCF (WACC = 6,07%)		*USD 7.281.414*	*USD 7.736.807*	*USD 8.188.694*	*USD 8.650.047*	*USD 9.128.451*	*USD 190.968.939*

Figura 7. Descuento del FCF proyectado con Capital de Trabajo. Fuente: Elaboración Propia.

En este punto del modelo, si se suman los flujos descontados del horizonte de estudio, es posible determinar el valor de mercado de la empresa con deuda (VL) para cada flujo planteado:

$$VL_{(NOF)} = 226.497.972\ USD$$

$$VL_{(CT)} = 231.954.352\ USD$$

2.5. VALOR DEL EQUITY SEGÚN NOF Y CT – DIFERENCIAS CON EL EQUITY DE MERCADO

Para medir las diferencias entre el uso de los conceptos, se plantea analizar el error porcentual relativo al valor del Equity de mercado (considerado como correctamente valuado); el concepto que minimice el error es el que mejor se ajusta al cálculo, según la metodología desarrollada.
Tras lo resuelto en el acápite 2.4, y considerando que la deuda (contabilizada como el total del pasivo) de la empresa es de 22.945.175 USD, es posible determinar el valor del Equity calculado por el modelo que en este trabajo se propone, según la Ecuación (3)

$$E_{(NOF)} = VL_{(NOF)} - D$$

$$E_{(CT)} = VL_{(CT)} - D$$

Reemplazando según los correspondientes valores, se obtiene que:

$$E_{(NOF)} = 203.552.797\ USD$$

$$E_{(CT)} = 209.009.177\ USD$$

El valor del Equity, estimado como el producto entre el precio de la acción y la cantidad de acciones circulantes de la empresa, es de 211.996.743 USD; lo que comparado a los Equity calculado con la metodología propuesta da diferencias por:

$$\Delta(E_{(NOF)} - E_{(Mercado)}) = -3{,}98\%$$

$$\Delta(E_{(CT)} - E_{(Mercado)}) = -1{,}41\%$$

En el caso de estudio, y según el modelo propuesto en este trabajo, el concepto de Capital de Trabajo se ajusta mejor al valor de mercado de la empresa, que el de Necesidades Operativas de Fondos.

3. CONCLUSIONES

En ambas metodologías de cálculo planteadas (según la Figura 1) se cumple el objetivo fijado en la introducción de este trabajo, de generar un modelo cuyo error porcentual absoluto sea menor al 5%.

Contrariamente a lo que se consideraba en un principio, el concepto de Capital de Trabajo ajustó mejor el valor de la empresa, según el modelo de cálculo propuesto, que el de Necesidades Operativas de Fondos (el CT minimizó su error en el cálculo del valor de la empresa, al compararlo con el del mercado).

Sin embargo, este análisis no es lo suficientemente consistente como para obtener una conclusión que permita aseverar qué concepto debe prevalecer por sobre el otro, ya que es una sola empresa la evaluada y no resulta ser representativo para el total de población de empresas existentes en el mercado.

4. TRABAJOS FUTUROS

Se plantea continuar la línea de investigación del trabajo repitiendo la aplicación del modelo de manera sistemática, con una muestra que resulte representativa para sacar conclusiones. Para esto, es que se propone tomar una muestra de empresas que pertenezcan al panel líder argentino en la cotización de la Bolsa de Buenos Aires, cuyos último Free Cash Flow sea positivo.

Según lo concluido en este trabajo, se propone verificar el siguiente test de hipótesis (como punto de partida futuros estudios):

$$H_0: El\ Capital\ de\ Trabajo\ minimiza\ el\ error\ de\ cálculo\ del\ Equity.$$
$$H_1: Las\ Necesidades\ Operativas\ de\ Fondos\ minimiza\ el\ error\ de\ cálculo\ del\ Equity.$$

También se propone utilizar una metodología más completa para el estudio de las diferencias entre los conceptos: realizar un ajuste por mínimo cuadrados de las diferencias relevadas, según la aplicación de cada concepto (con un previo procesamiento de normalización, para eliminar el ruido negro de los datos), para todas las empresas que se estudien en a la muestra seleccionada. Aquella curva (se debería confeccionar una curva por concepto) que minimice el error, o, lo que es lo mismo, maximice su R cuadrado, será la del concepto que mejor se ajuste para determinar el Equity de una empresa.

6.REFERENCIAS

Aguilar Grimaldo, J. I., Yañez Bentacourt, G., & Varela Castro, W. H. (2021). Estado de flujos de efectivo: un análisis con enfoque en la tasa de crecimiento. *Red Internacional de Investigadores en Competitividad*.

Cruz, J. S., Villareal, J., & Rosillo, J. (2008). *Finanzas coporativas: Valoración, política de financiamiento y riesgo.* International Thompson Editores S.A.

Diario La Nación. (19 de agosto de 2024). Economía - Cotización del Dólar. *Diario La Nación*.

Fama, E. (1977). Risk-Adjusted Discount Rates And Capital Budgeting Under Uncertainty. *Journal of financial Economics*.

Fusion Media Ltd. (19 de agosto de 2024). *Investing*. Obtenido de https://es.investing.com/equities/havanna-sa

Genoni, G., & Zurita, S. (2004). Capital de trabajo, gestión de tesorería y valuación de empresas. En *Estudio de Administración.* Santiago de Chile.

Investing. (19 de agosto de 2024). *Investing.com*. Obtenido de https://es.investing.com/equities/havanna-sa

Mandagarán Rivas, G. (2022). *Formulación y Evaluación de Proyectos - Análisis de inversiones de activos fijos en entornos emergentes.* Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Alfaomega.

Mandagarán Rivas, G. (2024). Derivation of a synthetic beta using the Monte Carlo method as an alternative to the comparable company approach for determining the cost of capital . *SSRN*.

Modigliani, F., & Miller, M. (1958). The cost of capital. Corporation finance and the theory of investment. *American Economic Review*.

Modigliani, F., & Miller, M. H. (1963). Corporate Income, Taxes and the Cost of Capital: A Correction.

Morinigo, F. (2024). *Havanna Holding S.A.* Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Sharpe, W. (1964). Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk. *The Journal of Finance*.

Statista. (19 de agosto de 2024). *Statista*. Obtenido de https://es.statista.com/estadisticas/598528/proyeccion-inflacion-en-ee-uu-2008-2020/

Tradingview, Inc. (19 de agosto de 2024). *Tradingview*. Obtenido de https://www.tradingview.com/symbols/BCBA-HAVA/financials-dividends/

TradingView, Inc. (19 de agosto de 2024). *TradingView*. Obtenido de https://es.tradingview.com/symbols/TVC-US10Y/

"DESARROLLO DEL PERSONAL PARA LA SOSTENIBILIDAD ORGANIZACIONAL"

Zabala, Fernando Cristian; Giovannone, Pablo Martín;
Aché, Ana Julia; Lattiano, Michella Sol

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional la Plata
fcristianzabala59@gmail.com; pablogiov@hotmail.com; anajuliaache1990@gmail.com; michellalattiano9@gmail.com

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es demostrar que la base para la sostenibilidad y efectividad de cualquier organización es el desarrollo de su personal. Para ello se requerirá de líderes ejerciendo liderazgo efectivo.

Se entiende la organización como instrumento social (etimológicamente herramienta *[Οργάνωση >>> ὄργανον - ὀργάνου] del griego: órgano, instrumento, utensilio)* para la consecución de objetivos subordinados a una visión estratégica de conjunto del grupo social que la instrumenta: "sus integrantes"; que a través de esta herramienta –la *organización*– se integran para poder lograr en colectivo lo que individualmente les sería imposible. Por ello se sostiene que no puede existir desarrollo sostenible de ninguna organización, sino hay desarrollo humano y profesional de todos y cada uno de sus integrantes.

El presente trabajo se encuadra en análisis de antecedentes y estudio de campo en distintas organizaciones, de diversos tipos, objeto y conformación. Es uno de los producidos, el objetivo principal, del PID *"LIDERAZGO ABIERTO. El Liderazgo Estratégico para los nuevos escenarios, la sustentabilidad y el desenvolvimiento de las organizaciones",* Cód.TOECALP0008234TC, en el último año de su ejecución y elaboración de conclusiones para publicación de producidos.

Las conclusiones y resultados que se han obtenido hasta ahora y las que se vienen obteniendo, permiten demostrar que el supuesto e hipótesis del trabajo es consistente con lo planteado: "No hay desarrollo organizacional efectivo sostenible, sino hay desarrollo de su Personal, para ello resulta imprescindible el liderazgo centrado en valores".

Palabras Claves: sostenibilidad, desarrollo, personal, organizaciones, liderazgo.

ABSTRACT

The objective of this work is to demonstrate that the basis for the sustainability and effectiveness of any organization is the development of its staff. This will require leaders exercising effective leadership.

The organization is understood as a social instrument (etymologically a tool [Οργάνωση >>> ὄργανον - ὀργάνου] from the Greek: organ, instrument, utensil) for the achievement of objectives subordinated to a strategic vision of the social group that implements it: "its members"; who through this tool - the organization - are integrated to be able to achieve collectively what would be impossible for them individually. Therefore, it is argued that there can be no sustainable development of any organization, if there is not human and professional development of each and every one of its members.

This work is framed in an analysis of background and field study in different organizations, of various types, purpose and composition. It is one of the products, the main objective, of the PID "OPEN LEADERSHIP. Strategic Leadership for new scenarios, sustainability and development of organizations", Code TOECALP0008234TC, in the last year of its execution and preparation of conclusions for publication of products.

The conclusions and results that have been obtained so far and those that are being obtained, allow to demonstrate that the assumption and hypothesis of the work is consistent with what was stated: "There is no effective sustainable organizational development, if there is no development of its Personnel, for this, leadership centered on values is essential."

Keywords: sustainability, development, personnel, organizations, leadership.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene su antecedente y marco referencial sobre la base de los estudios, análisis y producidos en el P.I.D. *"LIDERAZGO ABIERTO. El Liderazgo Estratégico para los nuevos escenarios, la sustentabilidad y el desenvolvimiento de las organizaciones"* (Cód.TOECALP0008234TC) (Disp. 10/22 Secretaría de Ciencia y Tecnología de la U.T.N.).

Como objeto de esta presentación, coincidente con el objetivo general de dicho P.I.D.: analizar, actualizar y/o desarrollar, para luego proponer herramientas ("*artes*" o "*técnicas*") de manejo para el liderazgo de las organizaciones, independientemente de su tipo, envergadura u objeto, que ayuden o propendan a su desarrollo y sostenibilidad, como fruto de su efectividad en los distintos escenarios en los que operan u operaren a futuro y hacia los cuales serán dirigidos los resultados –productos y/o servicios– que logren generar y poner a disposición de esos contextos: bienestar creciente de conformidad con valores humanos.

Para el despliegue del trabajo, se describen los aspectos relacionados a la complejidad - no linealidad de los procesos organizacionales, como impactan en la gestión y producidos de ellas –las organizaciones–, las competencias necesarias de su personal, la acción de los líderes, por qué resulta básico e imprescindible alinear objetivos de la organización con las aspiraciones de su personal para el desarrollo armónico y sostenible de las mismas y de sus integrantes. Todo ello en base a estudios documentales (fuentes secundarias de información) y estudios de campo (datos y fuentes primarias de información).

2. DESARROLLO

2.1. El Escenario de Trabajo: "Las Organizaciones".

Etimológicamente *Οργάνωση >>> ὄργανον - ὀργάνου,* del griego: órgano, instrumento, utensilio, aquello con lo que se trabaja (Diccionario Etimológico Intelecto Pág. 299; www.diccionarioactual.com; www.definición.de; Enciclopedia Significados: www.significados.com) Es una herramienta para hacer y poder lograr.

Se entiende a una Organización como una formación social, integrada bajo pautas específicas y coordinadas para la consecución de objetivos deseados y establecidos, mediante la realización de determinadas actividades. Una Organización, es entonces, Personas acordando y decidiendo integrarse para plantearse "ideales" y realizar proyectos para alcanzar objetivos y metas, en función de su "misión" (su para qué), que cada uno de sus integrantes por separado y por sí solos, no podrían jamás establecer (esa visión), ni lograr obtener resultados. Las organizaciones son las personas, son las personas quienes deciden organizarse, crearlas, reformularlas, integrarlas, irse o cancelarlas. Sin personas una organización es una abstracción.

Asimismo, implica un plan de actividades humanas, que no empieza a funcionar hasta que no se haya incorporado e integrado a las personas que van a desempeñar los diversos roles o a realizar las actividades previstas.

2.1.1 Intencionalidad de las Organizaciones.

Las organizaciones existen para:

a) que sus miembros alcancen objetivos que no podrían lograr de manera aislada debido a las restricciones individuales, que cada persona tiene; y
b) propender a generar un impacto positivo en el contexto socio-geográfico (local, regional y/o global) en el cual está localizada y opera, ya sea por el propio resultado de sus operaciones y procesos, como por el impacto en la cadena de valor que ellos producen.

2.1.2. Las Organizaciones como Sistemas.

Una Organización es un Sistema. La propia definición de sistema establece que el mismo es un todo organizado, constituido por elementos y que produce fenómenos inherentes a su estructura, forma con que se configura y adquiere su disposición, sus operaciones y procesos, pero distintos a los que podrían generar sus elementos constitutivos en forma singular o aislados de los otros y fuera de su estructura determinado. Cada sistema es único y tiene una identidad que lo define.

Los elementos constitutivos de las organizaciones se definen en estructurales: son aquellos que le dan forma, por ejemplo: las instalaciones, organigramas, descriptores de puestos trabajo o nomencladores de cargos, planteles básicos, etc. Los otros elementos constitutivos, los funcionales, son aquellos que determinan y permiten llevar a cabo las funciones y procesos que realiza cada organización en particular, por ejemplo: manuales de misiones y funciones, manuales de procedimientos (o procesos), máquinas y equipos, etc. Como se observa de lo enunciado todos los elementos constitutivos pueden actuar también y al mismo tiempo y momento, como elementos funcionales y/o estructurales.

Vale resaltar que, todas las organizaciones, son sistemas abiertos, dinámicos e irreversibles. La "Teoría General de los Sistemas" (TGS) enunciada por van Bertalanffy se sustenta en tres premisas básicas:

1) los sistemas existen dentro de los sistemas,
2) los sistemas son abiertos,
3) las funciones (operaciones, procesos, resultados) de los sistemas son función de su estructura, de tal forma que solo pueden hacer lo que sus estructuras les permiten,

…en sus procesos genéricos se identifican:

1) procesos sinérgicos (colaborativos) o competitivos,
2) entropía (cambio neto en el entorno o contexto, y en la propia estructura del sistema),
3) neguentropía o autoorganización, que permite asumir los cambios internos originados por la propia evolución del sistema o asociados a los impactos externos, para que el sistema no pierda la identidad que lo define.

2.1.3. Una mirada Conceptual de la Complejidad.

Como aborda en su obra Jean-Luis Le Moigne (ref. bibliográficas) las incongruencias que ha tenido la definición conceptual de "complejidad" para pasar a la simplidad formal en una suerte de empobrecimiento conceptual, optamos entonces por acercanos a la conceptualización de la misma, la complejidad, como la propiedad inherente a los sistemas dinámicos: las organizaciones y su contexto, donde los eventos surgen de la interrelación de las partes. Téngase en cuenta que por la Teoría Gral. De los Sistemas, definimos que los sistemas existen dentro de los sistemas. El contexto es inestable por naturaleza, está en permanente cambio y genera situaciones emergentes. Controlar la complejidad del entorno es una ilusión.

A partir de la complejidad, para las personas como analistas u operadores, o ambos, de los procesos de las organizaciones surge la incertidumbre.

Incertidumbre es un estado del observador-operador que no puede establecer con absoluta certeza los movimientos de un sistema en el devenir de los acontecimientos. Marca los límites del modelo de realidad cuando existe la necesidad de enfrentarse a un horizonte de predicción.

El espíritu humano ha estado obsesionado desde siempre con la idea de las leyes y el orden, para dar un sentido al universo donde vivimos y a nuestra propia vida. Nació así la idea revolucionaria de una separación total entre el sujeto (la persona) que conoce y la realidad, que supone independiente de ese sujeto que la observa, conoce y determina, así se contribuyó a la instauración de la simplicidad y el determinismo.

Fueron los físicos cuánticos: Planck, Bohr, Einstein, Paulí, Heisenberg, Dirac, Schröedinger, Born, De Broglie y otros que dieron los aportes para pasar a entender como mudar de la "causalidad local" a la "causalidad global", del "determinismo" al "indeterminismo", de la "objetividad absoluta" a la "percepción del Sujeto observador" y de "realidad" a los "niveles de realidad" (citados por E. Morin en "Introducción al pensamiento Complejo – Parte 2). Este escándalo intelectual provocado por la mecánica cuántica, ayudó a asumir la complejidad de los sistemas dinámicos, la incertidumbre del observador-operador y a no caer en el desconcierto cuando los modelos de la realidad observada, interpretada y planteada sucumben a la dinámica de la propia realidad, porque ésta –la realidad– es más intensa que lo que las construcciones (modelos interpretativos, modelos mentales) pueden integrar y procesar, sino a asumirla y plantear otros modelos que ayuden a resolver y a gestionar.

El pensamiento complejo, el enfoque desde la complejidad, nunca es un pensamiento completo. Pero ahora se sabe que no puede serlo, porque es un pensamiento articulante y multidimensional. Contrariamente al pensamiento simplificado (o analítico) que aísla, separa oculta todo lo que religa, sabe que la certidumbre generalizada es un mito, que es más potente y consistente un conocimiento que reconoce la vaguedad y la imprecisión que aquel que la excluye irreflexivamente. Confronta y ubica

o reubica la pura simplificación. Postula la dialógica, la recursividad, la hologramaticidad, como sus principios más pertinentes. Pero cuidado, no desprecia lo simple, sino que critica la simplificación.

Pensar en forma compleja es pertinente allí donde hay que pensar, porque pensar es construir una arquitectura de ideas y no tener una idea fija que permite salir del estado de desarticulación y fragmentación que llevado el saber contemporáneo de un pensamiento simplificado que nos ha dejado en la situación que vemos. Debemos volver al pensamiento sistémico, holístico y complejo, salir de nuestros estados de confort en donde conocemos todo de nada, para abordar lo inacabado del conocimiento y su aplicación efectiva. El pensamiento complejo "…*no propone un programa, sino un camino o método donde prueba ciertas estrategias que podrán ser fructíferas o no en el mismo caminar dialógico… es un estilo de acercamiento (de) a la realidad: genera su propia estrategia inseparable de la participación inventiva de quienes lo desarrollan*…"(Edgar Morin, Introducción al Pensamiento Complejo, Págs 75 y 94).

2.1.4. Complejidad en las Organizaciones

Atento a lo que se expuso, se entiende entonces a las organizaciones como sistemas abiertos y complejos. Justamente, su complejidad radica en sus:

1) *"Identidad y Forma"* ➔ *"¿qué es?" y "¿quiénes la integran?*: conjunto de elementos (partes u órganos [entendiéndose como órganos otros subsistemas integrantes del sistema organización] [incluyendo las personas integrantes]) que conforman una estructura singular, dinámicamente relacionados, en interacción permanente, intencionada o no, conformando una red de comunicaciones y otros eventos que son interdependientes unos de otros y entre todos a la vez;
2) *"Misión"* ➔ *"¿para qué está?"*: sus integrantes le asignan o definen un propósito y finalidad intencionados;
3) *"Visión"* ➔ *"¿hacia dónde?"*: la motivación para generar cambios deseados, el futuro buscado, sus ideales, sus utopías; que no implica solo ajustarse al devenir de los acontecimientos.
   Para las organizaciones el futuro no está solo en el calendario, está en dónde quiera estar la organización, vale recordar que los ideales o utopías permiten acercarse a ellos, pero a medida que ocurre el acercamiento se siguen moviendo, incluso más rápido a medida que la organización se acerque y aprenda, jamás se logran, pero sirven para andar y no quedarse detenido;
4) *"Objetivos"* ➔ *"¿qué lograr?"*: definen resultados a obtener que le permita acercarse a sus ideales, a su visión y futuros definidos. A diferencia de los ideales, que uno se acerca tanto como puede y siempre se corren, los objetivos si se cumplen y permiten tener viva la visión y los ideales;
5) *"Funciones"* ➔ *"¿qué ejecutar?"*: son las acciones, operaciones y procesos formales que deben ser realizados para concatenar cuotas y metas con el fin de cumplimentar objetivos;
6) *"Estrategias"* ➔ *"¿qué hacer?"*: son las decisiones que nos permiten elegir un camino y no otra para lograr y conseguir los objetivos, en función de las condiciones internas y contextuales que enfrentan las organizaciones. También el "qué hacer" cuando no hay nada que hacer;
7) *"Planificación"* ➔ *"¿cómo hacer el qué?", "¿dónde hacer?", "¿cuánto hacer?", "¿en qué momento hacer?", ¿cómo medir y controlar?, ¿cómo corregir desvíos?, ¿qué acciones de contingencia si ocurre lo que no debe ocurrir?*: implica operativizar las decisiones estratégicas con lo recursos disponibles;
8) *"Competencias" y "Responsabilidades"* ➔ *¿Quiénes qué y cómo?*: son las aptitudes y actitudes requeridas a las personas (integrantes de la organización) que deben desempeñarse en las distintas funciones y asumir los diferentes roles que se asignen en la misma para la consecución de los objetivos determinados;
9) *"Insumos"* ➔ *"¿Qué bienes/recursos se necesitan?"*: con lo que se alimentan los proceso y se obtienen los resultados transferibles;
10) *"Resultados"* ➔ *"¿Qué se ofrece?", "¿Qué impacto genera?"*: son los requerimientos del entorno o contexto, aquello que permite cumplir con la misión de la organización, porque alguien se beneficia de estos resultados, los elige y seguirá eligiendo. Vale considerar que los resultados deben adecuarse a las necesidades cambiantes de entornos dinámicos. Si ella sucede permitirá la sostenibilidad del desarrollo de la organización.

2.2. La Base del Desarrollo Organizacional: "El Liderazgo" y el "Desarrollo de Su Personal"

Si bien no existe una definición universal para *"liderazgo"*, dada la complejidad del objeto y su estrecha relación con las particularidades socio-culturales propias de cada lugar y tiempo, el estudio del liderazgo se ha abordado desde distintas corrientes y teorías.

En este trabajo se aborda el liderazgo desde una visión estratégica intentando crear un punto de partida que permita la aplicación de la teoría en la creación de herramientas útiles que potencien el desarrollo individual y colectivo de los integrantes de cualquier organización y por ende de la organización de las cuales son integrantes; que permita generar competencias para el bienestar y el desarrollo sostenible a partir de un saber hacer y lograr, un saber convivir y ser personas.

Desde esta aproximación se prefiere la definición de la Cátedra (electiva del 4° año de Ingeniería Industrial de la UTNFRLP) "Conducción de Personal: *"Proceso de facilitar y/o ayudar a que una persona o grupos de personas de transformen en equipos; generen y definan una visión, establezcan y logren objetivos organizacionales y dé desarrollo a sus integrantes"* (Definición Propuesta por el autor Profesor Titular de Dicha Cátedra – Ficha de Actividad Curricular 2020, actualizaciones 2021/22/23/24).

Liderazgo es, entonces, la acción de producir cambios, cambios útiles que generen una visión para un colectivo determinado, es señalar los rumbos para lograr el cambio, tender puentes, despejar los caminos y derribar barreras, motivar para alcanzar el futuro visionado, alinearse e integrar equipo, alentar y desarrollar a las personas como individuos dentro del grupo, conformar sistemas dinámicos para enfrentar el statu quo. El líder tiene, además, otra función que le es propia y no es menor, sino sustantiva: debe desarrollar más líderes, formar a sus colaboradores y equipo como futuros dirigentes, debe pensar en el legado de su trabajo, porque la visión de conjunto no se agota en él sino que lo trasciende. Debe asegurar esa trascendencia. En esta tarea nadie se hace grande o más grande disminuyendo la estima y el crecimiento de otros, sino muy por el contrario engrandeciendo a las demás personas, como marca el activista por los derechos de los ciudadanos, y autor de varios libros, Ralph Nader: *"La labor del líder es producir más líderes y no más seguidores"* (citado por Forbes.es/ Forbesquotes.es, 2015)

2.2.1. Tendencias en el estudio del Liderazgo.

Durante el Siglo XX se llevaron a cabo un sinnúmero de estudios sistemáticos sobre liderazgo, con el objeto de poder definir una teoría general sobre el mismo y que, a raíz de esta teoría, con el conocimiento adquirido, se pudieran garantizar organizaciones y equipos de trabajo eficaces, dotándolas de líderes efectivos en sus puestos de mando formales (direcciones, gerencias, mandos medios, supervisores y capataces).

Se realizaron estudios y mediciones abordando el tema en tres niveles, estos son los niveles: *individual*, *grupal*, y el *organizacional*; lo que derivó en el enunciado de las distintas teorías. Llegando hoy a enfoques que abarcan a todos los niveles en simultáneo.

El primer nivel de análisis, o nivel *individual* se conoce como *proceso dinámico* y enfoca la relación del líder con cada uno de los seguidores, como un proceso de influencia recíproca entre el líder y ellos. Existe un supuesto implícito sobre el liderazgo que no puede entenderse sin examinarse como un proceso de influencia mutua en el tiempo, se trata de un proceso de relaciones múltiples y recíprocas en el trabajo, e incluso fuera de él.

Seguidamente, el segundo nivel de análisis se enfoca a partir de la relación entre el líder y el grupo colectivo de seguidores. Las teorías del proceso grupal se enfocan en el proceso del liderazgo hacia la efectividad del grupo y se conocen como *proceso grupal*, o "Liderazgo de Equipos". En este enfoque, una parte importante son las reuniones colectivas de trabajo, dado que las mismas tienen por objeto clarificar, informar y establecer metas, objetivos y responsabilidades, sistemas de control y correcciones o mejoramiento, definir el tiempo real que las mismas ocupan en todo el proceso de trabajo en las organizaciones, apuntando a que las mismas sean realmente efectivas y no generen una carga para el equipo.

Por último, el enfoque organizacional o *proceso organizacional*, es el aporte de los individuos y equipos al desempeño exitoso de la organización. Este desempeño, en el largo plazo, es función de la adaptación eficaz al entorno o contexto y la adquisición de los recursos necesarios para mantenerse y crecer sustentablemente si la organización se integra de forma eficaz para producir los bienes, servicios o bienestar esperados de la misma: los cambios útiles.

Una organización, cualquiera sea ella, su tamaño y objeto, es la sumatoria integrada (o interrelacionada) de los tres niveles, lo que implica y explica la complejidad de los procesos

involucrados. Si el desempeño individual es deficiente en los equipos de trabajo, o en toda la organización, esta colapsará en un periodo determinado, dado que la organización se hace deficiente y no sostenible. Lo mismo se aplica para los equipos, ya que estos son parte de la organización. Si las personas y los equipos son eficaces la organización es sostenible.

Ahora bien, así como el desempeño individual se traduce en el desempeño de equipo y de la organización toda, el desempeño del equipo y de la organización afecta el desempeño de las personas. Si el equipo o la organización están motivados, dan un marco adecuado para el desarrollo personal y profesional de sus miembros, por ende, éstos también estarán motivados y serán productivos. Tanto el éxito como el fracaso tienden a ser contagiosos. Trabajar en un equipo ganador o en una organización exitosa motiva a las personas a desempeñarse lo mejor posible y a tender al propio desarrollo, generando un clima interno efectivo e integrador. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el desempeño de una organización es mucho más que la simple suma o despliegue de sus individuos y equipos, es una amplia red de interacciones, aspiraciones y deseos de cada uno de sus miembros, así como también del conjunto.

2.2.2. El Trabajo en Equipo

Si puede afirmar que todos los equipos están conformados por un grupo de personas, pero no implica que todo grupo de personas conforme un equipo. Conceptualmente “equipo” implica visión colectiva y un sentido de misión y responsabilidad compartida por todos sus miembros.

La formación de equipos, y el trabajo de equipo se ha convertido en una forma de vida habitual de trabajo y desempeño de las llamadas organizaciones posmodernas. La jerarquización del trabajo en equipo de trabajo, como forma operativa de las organizaciones y empresas, se desarrolla o acentúa a partir de la revolución productiva desplegada por las empresas japonesas en la década del ’70, en lo que se denominó la Gestión Total de la Calidad (TQM, por su sigla en inglés Total Quality Management). Esta manera de trabajo prioriza los resultados por sobre las operaciones en sí, haciendo foco en la satisfacción integral de los requerimientos o necesidades, tanto manifiestas como latentes, de los clientes o usuarios de productos y servicios que las empresas u organizaciones producían, como la satisfacción y desarrollo laboral de sus integrantes (Kaoru Ishikawa).

Este enfoque hacia el cliente o usuario, no es otra cosa que volver a la esencia misma de las organizaciones y empresas, a la misión y ello requiere un alineamiento de todos los miembros de la organización hacia esos objetivos; una nueva forma de integrar procesos internos en las organizaciones, que implica un compromiso y alistamiento a la visión colectiva, a la misión y responsabilidad compartida que venimos enunciando. Para lograr este enfoque, se requiere superar la individualidad y competitividad entre los propios miembros (fomentada por el taylorismo y fordismo) como un conjunto o sumatoria de individuos, para transformar este conjunto de personas en una unidad cohesionada: un equipo. Es así, que los equipos se han convertido en la estructura básica de sustento de las organizaciones más efectivas y exitosas, asegurando horizontes de crecimiento y desarrollo imposibles de alcanzar con los métodos tradicionales de trabajo.

Stephen Covey, autor de varias obras sobre liderazgo y gestión, define al equipo como *“una unidad de personas interdependientes con habilidades complementarias que están comprometidas con un propósito en común y un conjunto de metas de desempeño y que comparte expectativas comunes, por las cuales se hacen responsables”*(Covey, El Liderazgo Centrado en Equipos, pág. 324, Paidós 2013). A diferencia de un grupo o agrupamiento de personas, en donde sus individuos se enfocan en el desempeño individual, donde las metas y la confianza se sustentan en las capacidades individuales; los equipos tienen una cultura colectiva que requiere de sus miembros compartir información, ideas y perspectivas; tomar decisiones que respalden a cada uno para realizar de manera óptima el propio trabajo, y reforzar entre sí los estándares de desempeño individual, conformando verdaderas usinas de empoderamiento (empowerment) de sus miembros. Los equipos se esfuerzan por mantener una simetría de esfuerzos entre sus miembros, independientemente de las responsabilidades que pudieran tener sobre la tarea de conjunto. En un equipo no hay estrellas, la estrella es el equipo, todos resignan aspectos de su individualidad, pero sin perder la identidad como personas, por el bien del conjunto.

También es cierto que nadie por muy competente que sea individualmente supera a un equipo, el rol del líder es fundamental como miembro del equipo. El líder debe lograr y mantener la cohesión de los equipos y ser facilitador para el desarrollo de las personas, debe saber integrar los objetivos organizacionales con las aspiraciones de los miembros, y trabajar en este sentido, ese es su rol, esa es su función. Las organizaciones basadas en el trabajo en equipo necesitan líderes conocedores de

esta dinámica y capaces de armar y desarrollar equipos productivos y efectivos. El líder de equipo debe saber modelar la conducta del equipo, para que todos los miembros aprendan a ser "jugadores" de equipo. Una conducta de renuncia a algunos aspectos de la propia individualidad del líder, y el demostrar la autoconfianza influye en los miembros del equipo. Si el líder demuestra sacrificio personal, va más allá de lo que se espera de él y participa en que las cosas sucedan.

Algunas de las ventajas del trabajo en equipo podrían sintetizarse en: a) la sinergia que generan los equipos supera holgadamente el aporte del individuo más brillante, porque esta sinergia incluye la cooperación creativa de sus miembros; b) el trabajo en equipo requiere comunicación fluida, lo que permite evaluar el pensamiento de los demás y de esta forma se evitan errores graves en los procesos, permitiendo tomar mejores decisiones y evitando errores graves en los resultados de las organizaciones; c) los equipos contribuyen a la mejora continua e innovación (ej. Gestión Total de Calidad –TQM-), lo que genera también por añadidura una satisfacción de los miembros por su trabajo; d) se crea un entorno de trabajo que alienta a la automotivación y empoderamiento de sus miembros, nótese que la satisfacción laboral es decisiva, es lo que marca la diferencia entre las organizaciones exitosas de aquellas que no lo son, y por otro lado evita las altas tasas de rotación de empleados con los inconvenientes que ello acarrea; y e) ser miembro de un equipo posibilita satisfacer más necesidades personales que si se trabajara solo, incluyendo entre estas necesidades los factores motivacionales de las personas, como lo son la necesidades de afiliación, seguridad, autoestima y autorrealización.

2.2.3. El Insumo Básico para el Desarrollo del Personal: "La Motivación"

La motivación se entiende como todo aquello que influye en el comportamiento de una persona, o de un equipo de personas, para la consecución de resultados y el cumplimiento de metas, objetivos e ideal. Es decir, es la energía y la fuerza que posee la persona o el equipo para llegar a esos logros. También es el factor clave en el proceso de influencia positiva del líder hacia el equipo y colaboradores. Entonces, la motivación, ya sea del interior de la persona (intrínseca), o añadida por el líder (extrínseca) para el logro de las metas y objetivos operativos, e incluso los ideales trascendentes tanto individuales como colectivos o institucionales (del equipo o la organización), es el insumo para ello.

Se debe considerar que la motivación es efímera, porque la consecución de un resultado determinado por más deseado que éste sea, no implica la satisfacción posterior por otros resultados no conseguidos hasta entonces. En consecuencia, debe entenderse como un proceso permanente que se realimenta a partir de los propios resultados logrados y los nuevos resultados a lograr en lo sucesivo.

Se pueden distinguir distintos enfoques generales según cómo se aborde el tema, ya sea desde los aspectos motivacionales de la perspectiva de buscar la explicación y poder predecir el comportamiento, según los estímulos que necesitamos las personas (*Teoría del Contenido de la Motivación*); desde intentar poder entender la forma en cómo se elige u optamos por satisfacer las propias necesidades (*Teoría del Proceso de la Motivación*), o por último, proponiendo que el proceso puede explicarse, predecirse y controlarse mediante las consecuencias (resultados o efectos) de la conducta (*Teoría del Reforzamiento*).

Desde el enfoque del *Contenido de la Motivación* se busca explicar y predecir el comportamiento con base en las necesidades de las personas desde la óptica del colaborador principalmente; pero también se debe tener en cuenta que es independiente del rol que situacionalmente pueda ocupar éste. Con todo, la predicción del comportamiento no incluye aquellas conductas específicas para satisfacer las necesidades; su objetivo es, básicamente, que las personas se sientan motivadas a comportarse de la manera que la satisfaga. La razón de la motivación, entonces es, satisfacer necesidades o deseos. Las personas desean estar satisfechas siempre, y abandonarán el lugar o las circunstancias que no las satisfagan. Una persona satisfecha en un determinado contexto, es siempre más productiva en lo que hace, justamente por o como consecuencia de su motivación. Para contar con subordinados satisfechos en su trabajo, deben estar satisfechos en sus necesidades. Entre los exponentes de este primer grupo aparecen trabajos de Abraham Maslow, y su Teoría de las Jerarquías de las Necesidades, la Teoría Bifactorial desarrollada por Frederick Herzberg, y la Teoría de las Necesidades Adquiridas.

Las *Teorías del Proceso de la Motivación* se enfocan en entender los comportamientos que eligen las personas para satisfacer las propias necesidades. Estos planteamientos son más complejos que los de las teorías enfocadas en el contenido de la motivación, que se orientan a identificar y entender las necesidades de las personas. Las teorías del proceso de la motivación van un paso más allá y tratan de entender por qué las personas tienen diferentes necesidades, las modificaciones que éstas sufren,

cómo y por qué se elige tratar de satisfacerlas de ciertas maneras, el proceso mental dinámico conforme conforme se comprenden las distintas situaciones y las evaluaciones de satisfacción de las necesidades. Se pueden mencionar en este sentido los aportes de Stacy Adams y su Teoría de la Equidad, la teoría de las Expectativas de Víctor Vroom, y la Teoría del Establecimiento de Objetivos de E.A. Locke.

Por último La *Teoría del Reforzamiento* (Skinner) propone que las consecuencias del comportamiento determinan la motivación que siente el individuo para actuar de determinada manera. Esta teoría recurre a la modificación conductual (aplicar la teoría del reforzamiento para lograr que se lleve a cabo lo que se requiera) y al condicionamiento operante (tipos y programas de reforzamiento). Skinner plantea que el comportamiento se aprende merced a experiencias cuyas consecuencias han sido positivas o negativas. Sostuvo que para motivar no es necesario identificar ni entender las necesidades (Teorías del Contenido de la Motivación), ni tampoco las razones por las se elige satisfacer determinados comportamientos (Teorías del Proceso de la Motivación). Todo lo que se requiere es entender la relación entre las conductas y sus consecuencias, y manejar condiciones de trabajo que refuercen comportamientos deseables y desalienten conductas indeseables.

Entender la motivación ayuda a explicar determinadas formas de comportamiento. Los grupos de enfoques teóricos son complementarios entre sí.

Las Teorías del Contenido de la Motivación, pueden responder al interrogante de ¿Cuáles son las necesidades que deben satisfacerse en el trabajo? Las teorías del Proceso de la Motivación darían respuesta al interrogante de ¿Cómo se elige el comportamiento que satisface necesidades? Por último la Teoría del Reforzamiento responde a ¿Qué pueden hacer los líderes para lograr un comportamiento más adecuado para satisfacer los objetivos organizacionales?

El buen Liderazgo implica, la consecución de los objetivos organizacionales, y esto se logra con un equipo motivado.

2.2.4. Liderazgo es Estrategia. Estrategia es Liderazgo

La función principal del liderazgo es conectar e integrar el sentido personal de los miembros de un equipo, o de una organización, con el propósito superior de la *Visión* compartida compatible e integrada a la *Misión* de la Organización; creando las condiciones, dando un sentido de dirección (camino), articulando los recursos y resolviendo situaciones emergentes para hacer realidad esa Visión. *La función principal del liderazgo es la estrategia*.

Pero ¿qué es estrategia? ¿Qué se entiende por estrategia? Para aproximarse al concepto de estrategia primero se debe observar que existen distintos planos decisorios en todo sistema social, e incluso desde lo individual: a) en lo Organizacional; b) de equipo; y c) personal. Estos planos decisorios comienzan en el “nivel político” que es el que determina la Misión y los Objetivos Mayores (Ideales) y decide y prioriza la asignación de recursos para su cumplimiento. El “nivel estratégico” es donde se plantea y define la Visión y los Objetivos Generales (Objetivos), se integran y combinan los recursos para alcanzar aquellos y se prescribe a grandes rasgos los planes y las acciones a llevar a cabo. Por último, el “nivel operativo” es en donde se comienza con la planificación general, planificación particular y de las de acciones, se establecen las funciones y responsabilidades, se asignan los recursos específicos, se definen las metas temporales, los controles de verificación y por último se establece la cadena de información y sus alcances.

El contexto o entorno para el cual la estrategia debe ser definida está plagado de incertidumbres, por ello se dice que la estrategia es emergente, difícilmente, bajo condiciones muy singulares, se puedan formular estrategias de forma deliberada. Sería entonces inconsistente hablar de planeamiento estratégico, como es común escuchar, la inconsistencia radica en dos aspectos: a) la estrategia es acción tanto como la planificación, no es adjetivación o calificativo y; b) la otra inconsistencia viene dada por la modelización o interpretación del presente y del futuro desconocido, que requerirá hacer adecuaciones debido a las condiciones emergentes señaladas, por lo que entonces privará un toque de oportunismo circunstancial.

El proceso estratégico se despliega y se desarrolla en un contexto de incertidumbre, si bien se apela a la consecución y/o generación de información para poder disminuir o acotar la misma, el espacio contextual es de tal complejidad que resulta utópica su eliminación. Por ello se dice que el azar juega un papel importante, en algunos casos preponderante, en el proceso estratégico, algunas veces a favor del estratega (líder) llevando a éxitos impensados o, por el contrario, conduciendo a fracasos

inexorables aún tomando todos los recaudos que la experiencia, el conocimiento y el estado del arte indiquen y permitan.

El estratega deberá hacer uso del pensamiento complejo, el cual no rechaza el orden ni lo reflexivo, sino que es una parte –a veces pequeña o muy acotada de éste–, para poder desenvolverse en escenarios no lineales, de múltiples causalidades y de soluciones no lineales, no ideales y nunca definitivas. El pensamiento complejo no resuelve problemas, pero sí es la forma de conceptualización que aporta criterios para su interpretación y más ayuda a encontrar las probables y más efectivas soluciones. Es la ayuda para prevenir, cuando sea posible, acontecimientos no deseados, evitar la ceguera frente a incertidumbre y que no caigamos en el desconcierto.

La complejidad necesita de la visión y del proceso estratégico para su comprensión y abordaje. La estrategia es la única forma de enfrentar la incertidumbre y poder lograr los objetivos de supervivencia y desarrollo sostenible.

Como se menciona arriba, los fines de la estrategia siempre están relacionados a: “la supervivencia” y “el desarrollo –desarrollo sostenible–” como fines últimos integrados. Los objetivos estratégicos son concretos y operativos en sí, en el sentido que pueden ser alcanzables, posibles y medibles. La estrategia es la que transforma los ideales políticos en objetivos alcanzables. Por el contrario, debe quedar claro que cualquier medida política altera el rumbo establecido por la estrategia. La estrategia siempre estará determinada y condicionada a los ideales políticos de las organizaciones, es función de ellos.

3. METODOLOGÍA DEL TRABAJO

El despliegue y desarrollo de este trabajo requirió una metodología heterogénea, a) estudios de casos de tipo exploratorios, descriptivos y explicativos, tanto de información secundaria (artículos y bibliografía histórica y actualizada) y b) abordaje cuasi-experimental, atendiendo a la validación de los modelos observados.

Para el análisis de los recursos documentales y bibliográficos (información secundaria) se realizó la búsqueda de consulta a través de las bases de datos de las editoriales y publicaciones disponibles en la red, a partir de palabras clave y autores/investigadores dedicados al tema. Con estas búsquedas se recopiló documentación y/o información abundante y actualizada, integrando en este proceso bibliografía (libros) digitalizados o estado físico en más de 400 (cuatrocientos) volúmenes disponibles, y más de mil (1.000) artículos con referencia a los temas de liderazgo, desarrollo organizacional, desarrollo de personal y estrategia de publicaciones especializadas.

Se recopilaron datos mediante encuestas y entrevistas, como de los procesos cuasi-experimentales para obtener información primaria. El universo sobre el cual se trabajó fue en áreas específicas de: a) organismos públicos de los tres niveles, b) fundaciones, c) asociaciones profesionales y e) empresas con fines de lucro. En total se pudieron estudiar dieciocho (18) áreas de esas organizaciones mencionadas, firmando los acuerdos de estricta confidencialidad. Asimismo se pudo trabajar con datos antecedentes de una consultora dedicada al tema de personal.

La metodología con respecto a los actores de grupos de interés para recabar la información, se realizó mediante encuestas de tipo semiestructuradas, con cuestionarios de respuestas semiabiertas en proceso de entrevista presencial. También se realizaron entrevistas colectivas para algunas cuestiones particulares.

Los diseños cuasi experimentales se realizaron en focus group (grupos experimentales) y se compararon con la información secundaria antecedente. Vale adelantar que no se encontraron desvíos dignos de mención respecto de la misma, solo particularidades culturales.

Se prestó especial atención al trato confidencial de resguardo de la identidad de las personas y organizaciones (sino no se pudieran haber realizado los estudios de campo y ensayos cuasi-experimentales), siendo todas las encuestas y estudios anónimos, indicando solo los perfiles y características de los lugares donde se realizaron las encuestas, cantidad de casos y objeto, tipo y tamaño de las organizaciones en forma genérica (por ejemplo área de gobierno local, área de PyME productora de insumos para la industria, etc).

Los resultados generales o tendencias son los que se vuelcan en las conclusiones, los aspectos particulares se encuentran en proceso de análisis y volcado de resultados para la publicación de los producidos.

4. CONCLUSIONES

El objeto del trabajo fue determinar elementos que permitieran validar o proponer un constructo de base teórico o un modelo de aplicación. Se entiende que, en la investigación en procesos de administración y organización, más, donde se involucran todos los aspectos humanos, llegar a esbozar una teoría requiere un grado de análisis y desarrollo que excede en mucho el tiempo de un PID, es un proceso que se realimenta continuamente, no obstante, se pueden establecer modelos de aplicación general que permitan seguir el camino que deriven en construcciones teóricas o modelizaciones válidas para la aplicación efectiva. Asimismo, también establecer bases para la realización de otros PID's por este equipo y/u otros grupos que puedan abocarse al tema en el futuro.

Del análisis de la evalución de la bibliografía como de los artículos periodísticos se concluye que la tendencia abona la hipótesis planteadas para el trabajo.

Ahora bien, desde lo práctico en los estudios sobre grupos de campo, se observaron también cuestiones acorde a las hipótesis planteadas, pero mucho más ricas y complejas que las planteadas por la base secundaria (documental):

1) resulta de vital importancia saber que el liderazgo es un proceso social que concierne a las relaciones de las personas en la búsqueda de lograr materializar en resultados efectivos las visiones individuales y colectivas de las mismas: *persona ⇔ organización ⇔ persona.*
2) el enfoque de estrategias compartidas, desde la visión y previsión, por un lado, y la planificación y estructura de ejecución por otro, adquieren importancia sustantiva para la supervivencia y desarrollo sostenible de las organizaciones.
3) la generalización de un clima de confianza, cordialidad, autenticidad y transparencia en los ambientes de trabajo, sustentado en el temperamento equilibrado, claridad de pensamientos, conductas, competencias aprendidas y desarrolladas para el despliegue efectivo y la amplificación de las habilidades de participación y construcción de equipo de colaboradores: la organización como equipo de equipos demostró organizaciones sanas, que aún a sabiendas, y posiblemente por ello, de sus limitaciones, todos trabajaban para superarlas.
4) el líder asume una dimensión de catalizador de cambios útiles y sustentables, dentro de la organización y en el impacto efectivo de ella en el entorno, haciendo eje en los resultados; como del desarrollo de los colaboradores profesionalmente, pero más importante aún, en la de los colaboradores como sujeto - persona. Y ambas deben estar equilibradas.
5) la complejidad es una propiedad inherente a todo sistema real, la incertidumbre es un estado del observador. Aprender a manejarse en la incertidumbre y obtener los mejores resultados, se logra en equipo, asumiendo responsabilidades y participando de ellas al equipo.
6) los resultados efectivos provienen de un equipo de personas motivadas que trabajen en forma colaborativa, y no de grupo de individuos que desconfían el uno del otro, que estén a la defensiva y compitiendo permanentemente entre ellos.
7) en los momentos difíciles, la fuerza del líder proviene del equipo y de todas y cada una de las personas que lo integran, de lo que saben hacer, de las decisiones que tomen dentro de sus competencias, las que serán fruto de asumir las responsabilidades por la propia tarea.
8) se ha observado que en todos los lugares en los que se fomentó el individualismo y la competencia interna, además de los momentos contextuales difíciles que toquen afrontar, se generan lcondiciones adecuadas para crear innecesariamente conflictos internos que perjudican a las mismas personas, socavando y debilitando a las organizaciones arrastrándolas al fracaso y colapso.
9) innovación y creatividad es el resultado de usinas de ideas generadas en climas de colaboración resultante solo de procesos de liderazgo abierto, en donde la inventiva, las soluciones originales y efectivas para la mayoría de las situaciones problema del quehacer diario que le toque enfrentar a las organizaciones, sean éstas desvíos, obstáculos, alternativas u oportunidades, son fomentadas y facilitadas.

5. REFERENCIAS.

5.1. Bibliografía

Bordas Martínez, Ma. Jesús. (2016). "Gestión Estratégica del Clima Laboral". Universidad de Ed. A Distancia. Madrid-España.

Chiavenato, Idalberto. (2009). “Comportamiento Organizacional”2°Edic.. McGrawHill. México-México.
Covey, Sthepen. (2013). “El Liderazgo centrado en Principios”. Paidós. Buenos Aires-Argentina.
De Luca, Roberto. (2018). “Gestión Estratégica”. Granica. Bogotá-Colombia.
Diccionario Etimológico y de Sinónimos Intelecto. (1994). Ed. Cisplastina. Buenos Aires-Argentina.
Dubrin, Andrew J. (2008). “Comportamiento Humano en el Trabajo”9°Edic. McGrawHill. México-México.
Guizar Montúfar, Rafael. (2013). “Desarrollo Organizacional”. McGrawHill. México-México.
Heisenberg, Werner. (1959). “Física y Filosofía”. Editorial La Isla. Buenos Aires-Argentina.
Heisenberg, Werner. (2018). “El Principio de Incerteza”. Grandes Ideas de la Ciencia. Buenos Aires-Argentina
Ishikawa, Kaoru. (2003). “¿Qué es el Control total de la Calidad”. Norma. Bogotá-Colombia.
Levy, Alberto. (2023). “Estrategia. Comando Cognitivo del Conflicto entre Organizaciones Complejas”. Granica. Bogotá-Colombia.
Le Moigne, Jean-Louise. (2006). “La Théorie du Système Général”9°Ed. Marseille-France.
Luengo González, Enrique. (2018). “Las Vertientes de la Complejidad”. Universidad Jesuita de Gualadajara. Guadalajara-México.
Lussier, Robert. N; Achua Cristopher F. (2016). “Liderazgo. Teoría, Aplicación y Desarrollo de Habilidades”6°Ed. Cencage-Learning. México-México.
Mintzberg, Henry. (2007). “Safari a la Estrategia”. Granica. Buenos Aires-Argentina.
Mintzberg, Henry. (2005). “Directivos!! No MBA’s.” Deusto. Bilbao-España.
Morin, Edgar. (2002). “Manual de Iniciación al Pensamiento Complejo”. ICFES-UNESCO. México-México.
Morin, Edgar. (1999) “Los Siete Saberes para la Educación del Futuro”. UNESCO. Paris-France.
Morín, Edgar; Le Moigne, Jean-Louis. (2006). “Inteligencia de la Complejidad. Epistemología y Pragmática”. Coloquio de Cerisy. Cerisy-France.
Robbins, Sthepen P.; Judge, Timothy A. (2009). “Comportamiento Organizacional”13°Edic. Pearson. México-México.
Scharner, C. Otto. (2017). “Teoría U. Liderar desde el Futuro a medida que Emerge”2°Edic.. Editorial Elephteria. Ebook.
Schrödinger. (2018). “Las Paradojas Cuánticas”. Grandes Ideas de la Ciencia. Buenos Aires-Argentina.
Senge, Peter. (2015). “La quinta Disciplina”. Granica. Bogotá-Colombia.
Solzberg, Sharon. (2019). “Felicidad Real en el Trabajo”. Editorial Planeta. Ebook.
von Bertalanffy.Ludwig. (1989). “Teoría General de los Sistemas”9°Reimpresión. FCE. México-México
Watzlawick, Paul; Heltmeck Baebin, Janet; Jackson, Don D. (1991). “Teoría de la Comunicación Humana”. Editorial Herder. Barcelona-España.
Watzlawick, Paul. (2021). “¿Es real la Realidad?”. Herder. México-México.

5.2. Referencias

Rectorado U.T.N. – Secreataría de Ciencia y Tecnología – Disposición 10/2022.-
www.definicion.de: Definición
www.diccionarioactual.com: Diccionario Actual
Zabala, Fernando Cristian. (2024) Cátedra UTNFRLP “Conducción de Personal: Ficha de Actividades Curriculares – Actualización 2024”.
#ForbesQuotes. forbes.es/quotes/ . También citado por Bookey: www.bookey.app>quote-author>ralph-nader

"ANALISIS DE VARIABLES DE RIESGO EN PRODUCCIÓN DE LECHE BOVINA APLICANDO AHP Y LÓGICA DIFUSA"

MATASSA, Marcelo Daniel; XODO, Daniel; SPLENDIANI, Joaquín

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Trenque Lauquen
mdmatassa@hotmail.com; daniel.xodo@gmail.com; joacomorard@gmail.com

RESUMEN

La producción de leche bovina está asociada a variables, riesgos y condiciones de manejo de rodeo, alimentación del ganado bovino, ubicación geográfica, clima, suelo, recursos y la tecnología, que provocan pérdidas de tiempo, trabajo e inversión. Determinar los riesgos asociados según las condiciones con distintos tipos de variables en estudio es de suma importancia para las economías y los inversores que interviene en el Sector. Los factores que condicionan el riesgo son variables que determinan los riesgos económicos, productividad y rendimiento, son limitantes para los distintos productores o inversores. Un análisis predictivo o estadístico resulta útil para cuantificar su incidencia mediante mediciones sistemáticas, el trabajo presenta alternativas de clasificación de riesgos por área o sector determinado a partir de la combinación de las variables mediante AHP y lógica difusa. Los datos a utilizar son información del Servicio Meteorológico Nacional y de la oficina de INTA local y recolección de datos rurales.

La aplicación de método AHP (Analytic hierarchy process) y lógica difusa (Fuzzy Logic), con un método Mandani, permitirá optimizar las condiciones de riesgo a la producción de leche bovina. La clasificación de áreas de desarrollo y condiciones, pueden ser un factor o sector geográfico o agrícola, para determinar el nivel de riesgo asociado, a cada muestra en estudio.

Palabras claves: Variables – Productividad - Riesgos – AHP - Lógica Difusa –

ABSTRACT

Bovine milk production is associated with variables, risks and conditions of herd management, cattle feeding, geographical location, climate, soil, resources and technology, which cause losses of time, work and investment. Determining the risks associated according to the conditions with different types of variables under study is of utmost importance for the economies and investors involved in the Sector. The factors that determine the risk are variables that determine the economic risks, productivity and performance, they are limiting for the different producers or investors. A predictive or statistical analysis is useful to quantify its incidence through systematic measurements. The work presents alternatives for risk classification by area or sector determined from the combination of variables using AHP and fuzzy logic. The data to be used is information from the National Meteorological Service and the local INTA office and rural data collection.

The application of the AHP method (Analytic hierarchy process) and fuzzy logic, with a Mandani method, will allow optimizing the risk conditions for bovine milk production. The classification of development areas and conditions can be a geographic or agricultural factor or sector to determine the level of risk associated with each sample under study.

Keywords: Variables – Productivity – Risks – AHP – Fuzzy Logic -

1. Introducción

Analizar las distintas variables en producción de leche bovina y determinar los riesgos asociados a los distintos procesos que realizan los productores y/o Empresas locales o Zonales, se relaciona directamente a la entrada y salida de los recursos e insumos que intervienen en cada muestra y la naturaleza de cada actividad. Es necesario evaluar con un sistema AHP (Analytic hierarchy process) y los valores obtenidos en un mismo sistema difuso, permite optimizar cada una de las variables en estudio.

1.1. Objetivo principal

Determinar el tipo variables que optimicen la economía sustentable de una empresa y riesgos asociados a las condiciones en cada proceso, aplicando técnicas de lógica difusa.

1.2. Objetivos complementarios

Determinar la metodología adecuada para cada muestra en estudio.

2.-. METODOLOGIA:

Agrupar las variables, de acuerdo a su proceso y uso de recursos que influyen en la optimización, para su objetivo principal la producción de leche bovina. Asignar magnitudes escalares, para encuadrar a cada muestra en estudio.

Modificar escalas o adaptar las magnitudes escalares, dentro de zonas difusas, para ver en qué proporción se muestra de forma más óptima.

CRONOGRAMA:

1era. Etapa: Etapa descriptiva, asignando a las distintas necesidades de aplicación:

2da. Etapa: determinar las variables en estudio y definirlas para cada proceso, su composición física y las características que la componen.
Tabular las variables y comparar con los valores de referencia que dan las tabulaciones de las entidades oficiales autorizadas.

3ra. Etapa: Seleccionar una herramienta aplicando AHP y lógica difusa con modelo Mandani, para determinar con métodos no lineales, los valores óptimos, para relacionar y promediar las distintas variables en estudio.

4ta. Etapa: Evaluar cada proceso productivo en estudio y asignar los valores, para medir y determinar la comparación observada en cada muestra con la normativa aplicada.

5ta.etapa: Tabular y registrar las conclusiones observadas en método AHP y el modelo difuso.
Redactar resultados con prioridad de aplicación de las distintas muestras y cada variable en estudio con sus factores y recursos utilizados en cada proceso.

2.1. Metodología de análisis de las variables:

Elegimos variables que influyen en forma directa, para poder clasificar y ponderar la optimización y uso posterior.

2.2 ANIMALES/HECTAREA: Utilizados para entrar a diferentes procesos de producción de leche bovina, definidos como insumos o materias primas de acuerdo a su uso o transformación posterior. Los recursos son clasificados para su aplicación con anterioridad.

Medir el uso de los distintos tipos de recursos aplicados; físicos, biológicos, tecnológicos, económicos, financieros, humanos, etc.

2.3. GENETICA: Se relaciona directamente a la genética del animal, relacionada a calidad de producción previa clasificación y análisis de su naturaleza o clasificación posterior.

2.4. SANIDAD: Es la cantidad de vacas con enfermedad, mastitis, aftosa u otra que afecte directamente al animal, indirectamente puede mejorarse con el manejo del rodeo y la alimentación.

2.5. **PRODUCCION/EFICIENCIA**: La producción de leche es proporcional a la eficiencia, las variables que modifican esta es la genética, las pariciones del animal y futura producción.

2.6. **FORRAJE**: Se relaciona a la cantidad de animales por hectárea y el forraje que puede variar de 7000 a 8000 kg/hectárea. La calidad del pasto y los factores edafológicos del suelo.

Los valores para cada muestra en estudio:

ANIMALES/HA.: Tabulamos en porcentajes para aplicar el método AHP, de acuerdo a la estructura de cada muestra se toman la muestra de 1 animal a 4 animales por hectárea.

Baja: {1; 2} = {1; 10; 20 y 30%} Optima

Media: {2, 3} = {30; 40; 50 y 60%}

Alto: {3; 4} = {60; 70; 80; 90 y 100%}

GENETICA: Calidad animal, genética, enfermedades como aftosa o mastitis, manejo de lactancia, etc.:

Baja: {20; 30 Y 40%}

Media: {40; 50 60%} Optima

Alta: {60; 70 Y 80%}

SANIDAD: Para aplicar el porcentaje para este estudio tomamos la producción /vacas s/enfermedades como mastitis, aftosa, estrés animal, ambiente, bienestar animal, etc.:

Baja; {30; 40; 50 y 60%}

Media: {50; 60 y 70%} Optimo

Alta: {70; 80; 90 y 100%}

PRODUCCION/EFICIENCIA: Tabulamos en porcentajes estimados en litros de leche/kg de materia seca que consume el animal, nivel de proteína y manejo del rodeo, equipamiento, cantidad de ordeñe diario, etc.

Baja: {30; 40 y 50 %}

Media: {50; 60; y 65 %} Estable

Alta: {60; 70 y 80%} Optima

FORRAJE: En porcentajes estimados: [5000 a 12.000 kg de materia seca]:

Baja: {40, 50 y 60%}

Media: {50; 60; y 70%} Optima - estable

Alta: {70; 80; 90 y 100%}

La muestra elegida para la aplicación de esta herramienta, utilizando las ponderaciones de cada una de las variables elegidas: ANIMALES/HA, GENETICA, SANIDAD, PRODUCCION-EFICIENCIA Y FORRAJE, en la elección de cada muestra, condicionada a los factores climáticos y edafológicos de cada muestra en estudio.

3. Método AHP (**Analytic hierarchy process**)

Es una herramienta que permite tomar decisiones jerarquizando una estructura de variables interrelacionadas, aplica método multicriterio establece la variación de valores que alcanzan las variables, a partir de las muestras relevadas para cada caso en estudio. Utilizado para ponderar y jerarquizar los activos y el comportamiento de cada variable en su interrelación con el medio, sensibilizando cada valor y su influencia para la toma de decisiones.

La homogeneidad y consistencia de cada medición está condicionada la manejo del rodeo, con la cantidad de animales por Hectárea y los períodos de rotación y alimentación, con ciclos de pastura, y condiciones del clima y suelo, variables no constantes en la medición de cada ciclo productivo, variando cada muestra en los períodos establecidos para este trabajo.

.

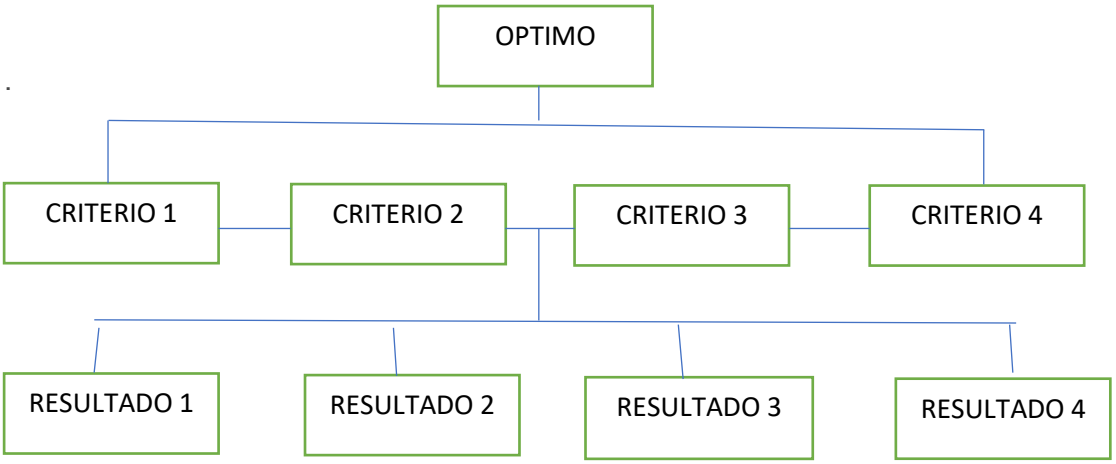


Figura 1. Matriz multicriterio AHP

Para el armado de la matriz de método AHP se realiza una comparación pareada, comparando una variable con otra, asignando puntuación con la ponderación de las muestras en estudio.

3.1. Matriz comparación de variables

	Animales/ha	Genética	Sanidad	Producción/Eficiencia	Forraje
Animales/Hectárea	1	1/5	1/9	1/7	1/3
Genética	5	1	1/5	1/3	3
Sanidad	9	5	1	3	7
Producción/ Eficiencia	7	3	1/3	1	5
Forraje	3	1/3	1/7	1/5	1
Total	25	9,53	1,79	4 2/3	16,33

Matriz Normalizada					Vector Promedio
0,04	0,02	0,06	0,03	0,02	0,03
0,20	0,10	0,11	0,07	0,18	0,13
0,36	0,52	0,56	0,64	0,43	0,50
0,28	0,31	0,19	0,21	0,31	0,26
0,12	0,03	0,08	0,04	0,06	0,07

3.1.1. Matriz de comparación Animales/Hectárea.

Muestra 1	1,0	0,2	0,3	0,2	1,0
Muestra 2	5,0	1,0	3,0	1,0	3,0

Muestra 3	3,0	0,3	1,0	0,3	3,0
Muestra 4	5,0	1,0	3,0	1,0	5,0
Muestra 5	1,0	0,3	0,3	0,2	1,0
Total	15,0	2,9	7,7	2,7	13,0

Matriz normalizada					Normal
0,06666667	0,06976744	0,04347826	0,07317073	0,07692308	0,06600
0,33333333	0,34883721	0,39130435	0,36585366	0,23076923	0,33402
0,2	0,11627907	0,13043478	0,12195122	0,23076923	0,15989
0,33333333	0,34883721	0,39130435	0,36585366	0,38461538	0,36479
0,06666667	0,11627907	0,04347826	0,07317073	0,07692308	0,07530

3.1.2. Matriz comparación Genética

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Muestra 1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Muestra 2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Muestra 3	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Muestra 4	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Muestra 5	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Total	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0

Matriz normalizada					Normal
0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,20000
0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,20000
0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,20000
0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,20000
0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,20000

3.1.3. *Matriz comparación Sanidad*

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Muestra 1	1,00	5,00	5,00	3,00	3,00
Muestra 2	0,20	1,00	1,00	0,33	1,00
Muestra 3	0,20	1,00	1,00	0,33	1,00
Muestra 4	0,33	3,00	3,00	1,00	3,00
Muestra 5	0,33	1,00	1,00	0,33	1,00
Total	2,1	11,0	11,0	5,0	9,0

Matriz normalizada					Normal
0,48387097	0,45454545	0,45454545	0,6	0,33333333	0,46526
0,09677419	0,09090909	0,09090909	0,06666667	0,11111111	0,09127
0,09677419	0,09090909	0,09090909	0,06666667	0,11111111	0,09127
0,16129032	0,27272727	0,27272727	0,2	0,33333333	0,24802
0,16129032	0,09090909	0,09090909	0,06666667	0,11111111	0,10418

3.1.4. Matriz comparación Producción/Eficiencia

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5

Muestra 1	1,00	0,33	1,00	1,00	0,20
Muestra 2	3,00	1,00	3,00	3,00	0,33
Muestra 3	1,00	0,33	1,00	1,00	0,20
Muestra 4	1,00	0,33	1,00	1,00	0,20
Muestra 5	5,00	3,00	5,00	5,00	1,00
Total	11,0	5,0	11,0	11,0	1,9

Matriz normalizada					Normal
0,09090909	0,06666667	0,09090909	0,09090909	0,10344828	0,08857
0,27272727	0,2	0,27272727	0,27272727	0,17241379	0,23812
0,09090909	0,06666667	0,09090909	0,09090909	0,10344828	0,08857
0,09090909	0,06666667	0,09090909	0,09090909	0,10344828	0,08857
0,45454545	0,6	0,45454545	0,45454545	0,51724138	0,49618

3.1.5. *Matriz comparación Forraje*

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Muestra 1	1,00	3,00	0,33	3,00	1,00
Muestra 2	0,33	1,00	0,20	1,00	0,33
Muestra 3	3,00	5,00	1,00	5,00	3,00
Muestra 4	0,33	1,00	0,20	1,00	0,33
Muestra 5	1,00	3,00	0,33	3,00	1,00
Total	5,7	13,0	2,1	13,0	5,7

Matriz normalizada					Normal
0,17647059	0,23076923	0,16129032	0,23076923	0,17647059	0,19515
0,05882353	0,07692308	0,09677419	0,07692308	0,05882353	0,07365
0,52941176	0,38461538	0,48387097	0,38461538	0,52941176	0,46239
0,05882353	0,07692308	0,09677419	0,07692308	0,05882353	0,07365
0,17647059	0,23076923	0,16129032	0,23076923	0,17647059	0,19515

3.1.6. *Matriz comparación selección de alternativas*

	Animales /ha	Genética	Sanidad	Producción / Eficiencia	Forraje	Total
Muestra 1	0,06600	0,20	0,47	0,08857	0,19515	0,28615 óptima
Muestra 2	0,33402	0,20	0,09	0,23812	0,07365	0,14636
Muestra 3	0,15989	0,20	0,09	0,08857	0,46239	0,10138
Muestra 4	0,36479	0,20	0,25	0,08857	0,07365	0,18732
Muestra 5	0,07530	0,20	0,10	0,49618	0,19515	0,21099
Ponderacion	0,03	0,13	0,50	0,26	0,07	

La aplicación de método AHP en la muestra 1 da como resultado 0,28615 equivalente 28,61 % el valor más alto en la ponderación de las cinco variables en estudio ANIMALES/HA. GENETICA, SANIDAD PRODUCCION/EFICIENCIA Y FORRAJE, la muestra 5 es la que sigue con el valor 0,21099 o su equivalente 21,09 %.

4. Sistemas de lógica difusa:

Un Sistema de Lógica Difusa (FLS) utiliza datos numéricos y lingüísticos a la vez. Este sistema es un mapeo no lineal de un vector de datos de entrada en un escalar de salida. En el caso de un vector de salida, este puede descomponerse en una colección independiente de sistemas "múltiple entrada / simple salida".

Un sistema de control difuso mapea entradas crisp en salidas crisp. Contiene cuatro componentes: reglas, fusificador, motor de inferencia y defusificador. Una vez que las reglas han sido establecidas, un FLS puede ser visto como un mapeo que puede ser expresado cuantitativamente como

Y=f(X). *(1) función de X.*

Las reglas pueden ser provistas por expertos o extraídas de datos numéricos. En todo caso, son expresadas como una colección de sentencias IF-THEN. De las reglas se debe conocer:

. Variables lingüísticas en contraposición a los valores numéricos de una variable.

. Mixtas: Son las reglas que utilizan los conectivos "AND" y "OR" en forma conjunta. Pueden ser descompuestas usando las técnicas estándar de lógica crisp.

. Estados Difusos: Estas reglas no tienen antecedentes. Ej. *v is G*^{l}. Puede completarse de la misma forma que los IF incompletos.

. Comparativas: Son del tipo *"el menor de u, el mayor de v".* Se pueden reformular estas reglas al formato estándar. En este caso: IF *u* is *S* THEN *v* is *B*, donde *S* representa el conjunto difuso "el menor" y *B* representa al conjunto difuso "el mayor".

4.1. Defusificación

El proceso de defusificación toma el conjunto difuso es la salida del bloque de inferencia y produce una salida crisp, mapea conjuntos difusos en puntos crisp. Muchos defusificadores, han sido propuestos, sin embargo, no hay bases científicas consecuentemente para algunos autores, la defusificación es más un arte que una ciencia. Existen diferentes tipos de defusificadores, entre los más importantes se encuentran:

Defusificador Centroide (Centroid)

Determina el centro de gravedad $\overline{y}$ de *B*, conjunto difuso mayor y usa ese valor como salida del Sistema de Lógica Difusa. Del cálculo se obtiene:

$$Y = \frac{\int sy\ \mu B\ (y)\ dy}{\int s\mu B\ (y) dy}$$

(2) *Y*= Conjunto difuso mayor

dónde *S* denota el soporte de conjunto difuso menor de $\mu_B(y)$: *S* es discreto, así que $\overline{y}$ puede ser aproximado con la siguiente fórmula:

$$Y = \frac{\sum Sy\ \mu B\ (y)\ dy}{\sum S\mu B\ (y) dy}$$

(3) Y= Conjunto difuso menor

El centroide posibilita determinar la salida menor, para ponderar la optimización de variables, con el mínimo valor de salida, determina, que tipo de composición y valor tiene cada variable en estudio.

Modelo Difuso de Mamdani

La configuración del modelo difuso de *Mamdani* se muestra en la Figura 1. En esta clase de modelos difusos, las reglas difusas *IF-THEN* son de la forma:

R^i : IF x_1 is A^i_1 and x_2 is A^i_2 and .... and x_n is A^i_n THEN y is B^i=0 (4) Regla difusa

Las principales ventajas del modelo difuso de *Mamdani* se especifican en su simplicidad en la representación de las reglas difusas, las premisas como los consecuentes tienen forma de conjunto difuso lo que facilita su interpretación. Su flexibilidad en la materialización debido a la posibilidad de seleccionar las operaciones del motor de inferencia, del fusificador o defusificador.

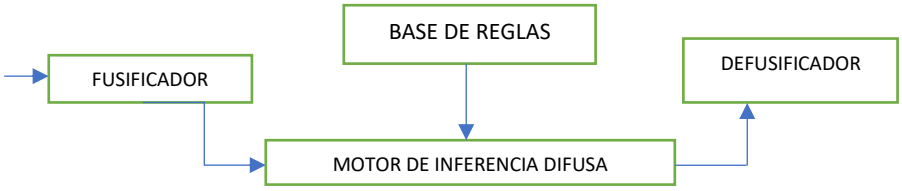


Figura 2. Modelo Difuso de Mamdani.

La principal desventaja de este modelo difuso es que para sistemas complejos no lineales usualmente se requieren muchas reglas difusas *IF-THE*N, lo cual hace más compleja su materialización. Los conectores lógicos para variables lingüísticas (*and*, *or*..). Las implicaciones (IF *a* THEN *b*). 3. Cómo combinar un conjunto de reglas.

El justificador mapea valores numéricos crisp en conjuntos difusos. Es necesario para activar reglas, que están en términos de variables lingüísticas y tienen asociados conjuntos difusos.

El motor de inferencia difusa (FLS) mapea conjuntos difusos, mediante la combinación de reglas "IF-THEN". Aplicar distintos tipos de procesos de inferencia, para tomar decisiones, puede utilizar distintos procedimientos de inferencia difusa. En aplicaciones de control, los números corresponden a las acciones de control a tomar.

La elección de una herramienta de uso general y de conocimiento en su aplicación, hace que el MATLAB, sea la herramienta para agrupar y ponderar las variables en estudio.

4.2. *Matriz*

La matriz para justificar las reglas a aplicar en si "and" si "and" si "and" then: "entonces".

Tabla 1 Matriz de armado de reglas

ENTRADA					SALIDA
ANIMALES/ HA.	**GENETICA**	**SANIDAD**	**PRODUCCION EFICIENCIA**	**FORRAJE**	**COEFICIENTE DE SALIDA**
ALTO	BAJO	BAJO	BAJO	ALTO	ALTO
ALTO	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
ALTO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
ALTO	MEDIO	MEDIO	ALTO	BAJO	BAJO
MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	BAJO	MUY BAJO
MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	BAJO
MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MEDIO	BAJO
BAJO	ALTO	ALTO	ALTO	BAJO	MUY BAJO
ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	BAJO	MUY BAJO

ALTO	BAJO	BAJO	ALTO	MEDIO	BAJO
ALTO	MEDIO	ALTO	BAJO	ALTO	ALTO
ALTO	MEDIO	MEDIO	BAJO	MEDIO	ALTO
ALTO	MEDIO	ALTO	BAJO	MEDIO	ALTO
ALTO	ALTO	BAJO	ALTO	BAJO	BAJO
BAJO	ALTO	ALTO	BAJO	MEDIO	ALTO
BAJO	ALTO	ALTO	BAJO	ALTO	ALTO
BAJO	ALTO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
NO TIENE	NO TIENE	BAJO	BAJO	ALTO	MUY ALTO

5. TABULACION PARA LA MUESTRA:

La muestra elegida para la aplicación de esta herramienta, utilizando las ponderaciones de cada una de las variables elegidas: ANIMALES/HA, GENETICA, SANIDAD, PRODUCCION-EFICIENCIA Y FORRAJE.

5.1 ANALISIS DE LAS MUESTRAS

La 1ra. muestra para valores promedios con salida óptima en 6,46 resulta el 64,60 % con valores:

ANIMALES/HA.: 50%; GENETICA: 50%; SANIDAD: 51% media; PRODUCCION/EFICIENCIA: 50 %; FORRAJE: 50%.

La utilización de MATLAB permite, relacionar las variables, con sus escalas de ponderación. Las reglas se arman de la forma IF-AND-THEN-y la variable de salida y la prioridad es con salida: “Muy alta, Alta, Media, Baja o Muy Baja”.

Armado de reglas difusas:

If ANIMALES/HA MEDIA “and” GENETICA MEDIA “and” SANIDAD MEDIA “and” PRODUCCION/EFICIENCIA MEDIA “and” FORRAJE MEDIA “then” SALIDA MEDIA ALTA

5.1.a) If {50 a 55% ; 49 a 52% ; 51 a 52% ; 50 a 51% ; 50 a 51%; 50 a 60%} = 6,46

5.1.b) If {36 a 37% ; 55 a 61% ; 70 a 72% ; 55 a 57% ; 51 a 52%} = 5,00

5.1.c) If {46 a 47% ; 55 a 56% ; 70 a 72%; 51 a 52% ; 53 a 63% } = 5,05

5.1.d) If {37 a 38% ; 52 a 54% ; 68 a 69%; 51 a 53% ; 51 a 52% } = 5,00

5.1.e) If {50 a 52% ; 50 a 51% ; 48 a 55%; 65 a 80% ; 60 a 70% } = 5,20

Promedio 6,45 con salida en baja óptimo 5,05

Regla 5.1.a) Variación en baja de promedio en centroide bajando de 6,45 (64,50%) a 5,00 (50%) regla 5.1.b) en baja por mediar solamente ANIMALES/HA aumentando la SANIDAD y GENETICA con media alta aumento 52 a 70% en 18% y en FORRAJE, con variación de 13,50 % regla 4.1.b) y regla 4.1.c) con 14,45% aumentando ANIMALES/HA de 2 a 3 manteniendo GENETICA y SANIDAD y aumentando 11 % el FORRAJE estable variación 10%, salida en 5.

Regla 5.1.C) Si se toman ANIMALES/HA estable bajando a 55 a 50 iguales valores en GENETICA y baja SANIDAD aumenta 10% manteniendo PRODUCCION/EFICIENCIA y FORRAJE en suba 10 en aumento, con salida 5,05.

Regla 5.1.d) Si se toman ANIMALES/HA estable bajando a 38 a 37%0 iguales valores en GENETICA 2% y media SANIDAD aumenta 3% manteniendo PRODUCCION/EFICIENCIA y bajando solamente 54 a 54%% FORRAJE para optimización de promedio**.**

Regla 5.1.e) Si se toman ANIMALES/HA estable bajando a 50 a 52% iguales valores en GENETICA y baja SANIDAD 3% manteniendo PRODUCCION/EFICIENCIA aumenta hasta 29% y bajando solamente 54 a 54%% FORRAJE para optimización de promedio de salida 5,20.SANIDAD: {5,0; 5,5 y 5,9} = 51% media ; PRODUCCION/EFICIENCIA: {4,8; 5,00; 5,05; 5,10} = 51 % media; FORRAJE: {4,5; 5,00; 5,55; 6,00} = media 7500 kg/materia seca

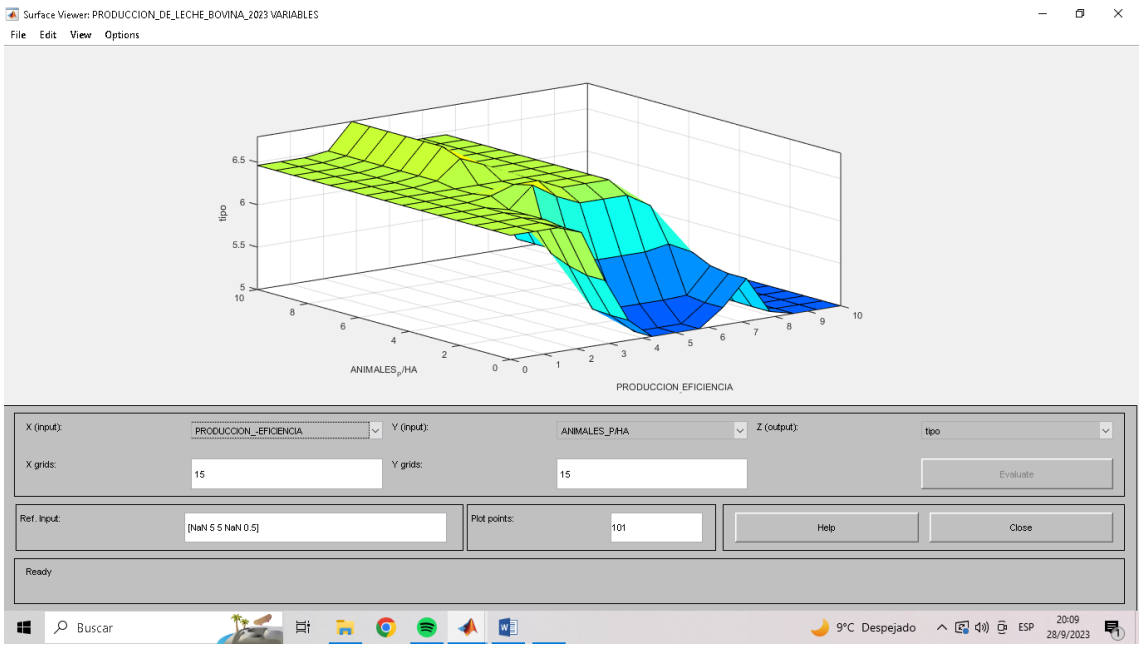


Figura 3 Diagrama de superficie con las 4 variables.

5.2. CONCLUSIONES: MUESTRA NRO.1

La variable ANIMALES/HA. incide con los porcentajes 50 % que componen la muestra.

GENETICA presenta forma homogénea valor 50 a 53%

SANIDAD: Muestra la presencia entre medio y alto 50 a 60% libre aftosa, mastitis y peso metabólico para mantenerse energéticamente el animal.

PRODUCCION/EFICIENCIA: Medimos la productividad y eficiencia en litros/hectárea/año y la producción individual por animal, dependiendo del fator humano para el ordeñe.

FORRAJE: Depende de la cantidad de individuos por hectárea, pastoreo, tomando directamente relación con la variable ANIMALES/HA.

Las reglas óptimas dan como valor promedio de aplicación **6,46** y se da en las siguientes combinaciones de variables:

ANIMALES/HA: {5,0; 5,2 y 5,5} = 50% media (2 animales/ha.)

GENETICA: {4,6; 5,0 y 5,5} = 52% media

SANIDAD: {5,0; 5,5 y 5,9} = 51% media

PRODUCCION/EFICIENCIA: {4,8; 5,00; 5,05; 5,10} = 51 % media

FORRAJE: {4,5; 5,00; 5,55; 6,00} = media 7500 kg/materia seca

Las reglas óptimas dan como valor promedio de aplicación 5 y se da en las siguientes combinaciones de variables, como la variable ANIMALES/HA baja 30 % GENETICA baja 38 a 40%, SANIDAD 62% media, PRODUCCION-EFICIENCIA 52% media y FORRAJE 50% media, teniendo en cuenta la variación de animales por hectárea, productividad directamente con eficiencia y alimentación, que varían en forma directa y podemos modificar en valor promedio:

Regla óptima: Si ANIMALES/HA media 50% “y” GENETICA media 51% “y” SANIDAD media 52% ”y” PRODUCCION-EFICIENCIA media 50% FORRAJE media 51% “entonces” salida media. Valor 5 en aumento 6,46 promedio en aumento a 64,6% y si aumenta la variable ANIMALES/HA de media a alta de 3 a 4 animales por hectárea, aumenta el consumo de forraje y materia seca.

5.3. CONCLUSIONES MUESTRA NRO.2

La muestra de ANIMALES/HA, se muestra sensible las variaciones de PRODUCCION-EFICIENCIA como variable más importante, en aumento respecto a la muestra nro. 1 de 50% a 62,50 %, estable, modificando el promedio de salida de 6,46 a 5, varía el promedio óptimo de coeficiente de salida de un 14,6%, en la muestra nro.1, tomando menor riesgo y composición de cada variable.

En segundo lugar la variable SANIDAD incide directamente en salida óptima 5, pasa de valor 51 % A 72,5%, relacionado al bienestar animal, alimentación y manejo del rodeo en cada ordeñe.

En tercer lugar la variable PRODUCCION-EFICIENCIA mantiene valores de 50 a 54% en equipamiento y cantidad de ordeñe, promedio manteniendo de 7000 a 9000 kg/materia seca, inciden las variables anteriores para bajar el promedio de riesgo asociado.

En cuarto GENETICA mantiene su valor entre 50 a 61%, se mantiene aumentando el 11%, para mantener salida óptima en 5.

Se mantiene FORRAJE constante con un valor 5,05 y aumenta el porcentaje, para optimizar la muestra, que baja a 5,41. El método del centroide muestra los valores mínimos del conjunto de las variables en estudio y su punto óptimo de salida, de la tabulación de la matriz utilizada.

Si aumenta el número de animales por hectárea, se alimentan menos, consumiendo mayor cantidad de forraje, para mantener el peso y de acuerdo al ciclo de lactancia o número de parto de 1er. a 4to parto, mayor eficiencia y productividad en el 2do al 4to.coeficiente de salida a 5 estable.

5.4. CONCLUSIONES DE RIESGO ASOCIADO:

. La herramienta AHP permite cuantificar y ponderar en una matriz las variables analizando por jerarquía la combinación de valores de cada muestra en porcentajes, para establecer las cantidades óptimas para cada variable en estudio. El método multicriterio relaciona cada muestra con los valores observados mostrando cuáles son las de mayor ponderación aumentado el riesgo económico.

. La Lógica difusa y las muestras seleccionadas muestran el grado de ponderación máximo y mínimo de cada muestra. Permite relacionar variables de diferente naturaleza y en escalas distintas de cuantificación, que pueden modificarse por condiciones climáticas, por exceso o falta de lluvias y las variaciones estacionales de la temperatura.

. Hace posible definir en forma escalar las ponderaciones de cada variable, a fin de maximizar los valores alcanzados en zonas difusas, definiendo su conjunto de pertenencia o grupo, como se observa la muestra nro.2, con ponderación óptima 5,00

. Para las muestras escogidas para análisis de los distintos tipos de producción de leche bovina, reflejan la sensibilidad de cada variable y los componentes, que incide para optimizar su uso o decisión. El método de AHP difuso considera más óptimo la muestra de menor valor observado en sus combinaciones posibles.

. Las variaciones ambientales, manejo del rodeo, pastoreo, humedad del suelo, ciclo de lluvias, producción y eficiencia, ciclo de alimentación, sanidad, genética y bienestar animal son componentes y los períodos de tiempo escogidos para cada análisis, son independientes de los resultados obtenidos.

. La metodología y técnicas de estudio aplicadas, abre oportunidades para nuevos estudios o análisis de diversas variables, que modifican la aplicación para usos y aplicación en producción de leche bovina, que se relacionan en forma directa con las condiciones de cada productor y períodos de tiempo elegidos en cada muestra.

. Si comparamos los resultados obtenidos en la muestra nro.2 con valor promedio óptimo de baja de 6,46 a 5,00. Un porcentaje que muestra la importancia del número de animales por hectárea, producción y eficiencia, que el productor tiene que agregar alimentos que proporcionen proteínas, que faciliten el rumen y no produzca dificultad gástrica o baja en la producción de leche, para sustituir y aumentar el contenido, para llegar al período de lactancia de las vacas de ordeñe, para evitar la merma, evitando pérdida de inversión significativa.

5. REFERENCIAS:

[1] Saaty, T.(1980). Multicriteria decision Making: The analytic hierarchy process. New York, McGraw Hill.

[2] Zadeth, L. (1994) “The Fuzzy Systems Handbook” NTA (2023) “Salud animal” A practitioner!s guide to building, using and Maintaining Fuzzy sistems EARL COX.

[3] Arredondo Vidal, T. (2014) “Introducción a la lógica difusa”.pdf

[4] Bonilla, R. M. 0. “Gestión de sostenibilidad utilizando Lógica Borrosa”. Universidad complutense Madrid.2010-2011.

[5] Lázzari, L. Machado, E. y Perez, R. H.(1999)”Teoría de la decisión Fuzzy”. Edic. Macchi Bs.As.

[6] Jeantet, G. R. Roingrait, M. y Brula,G. (2005) “Ingeniería de los procesos aplicada a la industria Láctea”. Edit.Acribia S.A.

[7] Keating, P.F. Gaona Rodriguez, H. (1999) “Introducción a la lactología” 2da. Edición. Edit. Limusa Pub. Noriega.

[8]Servicio Meteorológico de Trenque Lauquen. (2023) https://www.smn.gob.ar/ https://www.google.com/search?q=informes+de+servicio+meteorologico+nacional+para+trenque+lauquen&rlz=1C1CHZN_esAR1016AR1016&oq

[9] INTA (2023) “Salud animal” https://www.argentina.gob.ar/inta/tecnologias/salud-animal

Agradecimiento: Los autores de este trabajo agradecen al Depto. De Ingeniería Industrial Facultad Regional Trenque Lauquen–UTN.

A la colaboración y asesoramiento del Observatorio agropecuario del Departamento de la Licenciatura en Administración Rural de la Facultad Regional Trenque Lauquen- UTN.

Al grupo de trabajo de INTA Trenque Lauquen, por el asesoramiento y datos relevados para comparación en la industria Láctea 2023.

B – Ambiente y Sostenibilidad

"PIRÓLISIS DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO"

Eichler, M. Florencia; Gimenez, Fabricio; Ianardi, Andrés; Mendoza, Sebastián; Ing. Patricio Gonzalez Viescas

Universidad de Mendoza
eichlerflorencia@gmail.com; andresianardi@gmail.com; smendozav1990@gmail.com; fabrigimenez18@gmail.com; patricio.gonzalez@um.edu.ar

RESUMEN

El proyecto de pirolisis de neumáticos desarrollado tiene como objetivo principal la valorización de residuos sólidos, específicamente neumáticos fuera de uso (NFU), mediante la pirolisis. Este proceso termoquímico permite descomponer los neumáticos en productos valiosos como el negro de carbón, el gas pirolítico, el acero y el aceite pirolítico. Estos subproductos tienen aplicaciones en diversas industrias, lo que contribuye a la sostenibilidad y a la economía circular. El estudio incluye el diseño de la planta, un análisis de los bienes producidos, los principales consumidores y proveedores, así como un estudio económico-financiero que avala la viabilidad del proyecto.

Palabras Claves: Pirólisis, Neumáticos fuera de uso (NFU), Economía circular, Valorización de residuos, Reciclado.

ABSTRACT

The tire pyrolysis project aims to valorize solid waste, specifically end-of-life tires (ELTs), through pyrolysis. This thermochemical process decomposes tires into valuable products such as carbon black, pyrolysis gas, steel, and pyrolysis oil. These byproducts have applications in various industries, contributing to sustainability and the circular economy. The study includes the plant design, an analysis of the produced goods, the main consumers and suppliers, as well as an economic and financial study that supports the project's viability.

Keywords: Pyrolysis, End-of-life tires, Circular economy, Waste recovery, Recycling.

1- INTRODUCCIÓN

1.1. Problemática ambiental.

Es un hecho real la problemática ambiental y social de disposición, manejo y utilización de productos y materiales que han finalizado su ciclo de vida útil. Además, la dependencia de los combustibles fósiles en el sector transporte y en la electricidad, así como los impactos ambientales generados por su uso, especialmente el cambio climático, motivan y justifican los frentes de investigación mundiales en materia de energía y medio ambiente.

2.2 Composición de un neumático

Un neumático está compuesto por una mezcla compleja de caucho, que puede ser natural o sintético, polímeros, refuerzos textiles como el poliéster o nylon, y acero. Estos materiales se combinan para darle al neumático su elasticidad, resistencia y durabilidad. Sin embargo, esta misma composición lo hace muy difícil de descomponer naturalmente. Los cauchos y polímeros son materiales altamente resistentes a la degradación biológica, mientras que el acero y los refuerzos textiles no se descomponen fácilmente en el ambiente. Como resultado, un neumático puede tardar cientos de años en descomponerse por completo, lo que plantea un desafío significativo para su gestión como residuo.



Figura 1: Composición del neumático

1.2 Idea de proyecto

Teniendo en cuenta esta problemática, nace PyroGreen Solutions, una empresa cuyo objetivo es reciclar neumáticos fuera de uso para elaborar fuel oil, negro de carbón y alambre de acero. Dicha elaboración se hace mediante un proceso químico llamado pirólisis.

Este proceso de pirólisis ofrece una auténtica solución de reciclaje para la gran cantidad de goma utilizada en neumáticos y productos industriales. La palabra 'pirólisis' se compone de 'pyro', que significa calor, y 'lysis', que significa desintegración. Básicamente, la pirólisis implica la desintegración de un material mediante calor en un ambiente sin oxígeno.

Los productos principales obtenidos por la pirólisis de neumáticos son el alambre de acero, separado antes o después del proceso y comercializado como chatarra; el aceite Pirolítico, usado como combustible reciclado o refinado para producir aceites, carburantes diésel o biocombustibles; el negro de carbón, esencial para fabricar muchos productos que utilizamos diariamente, como neumáticos, plásticos, tintas y revestimientos; y el gas de proceso, mezcla de gases livianos no condensables con un alto poder calorífico, un hidrocarburo ligero que se utiliza como energía alternativa en la propia planta pirolítica.

La pirólisis de neumáticos en desuso representa una fuente de energía más limpia y sostenible para convertir estos neumáticos en combustibles alternativos y productos petroquímicos de alto valor

agregado. Además, este proceso genera aproximadamente seis veces menos emisiones de CO2 en comparación con otros métodos de combustión convencionales.

1.3 La Pirólisis: Un Enfoque Sostenible y Económico

El impacto ambiental de la pirólisis ha sido estudiado en varios países con gran éxito. Por ejemplo, en Alemania, la pirólisis ha reducido un 25% de los residuos de neumáticos anualmente, y en China, el proceso se ha implementado para gestionar los más de 10 millones de toneladas de NFU generados cada año, contribuyendo a la economía circular (BestonGroup, 2024). Además, en Estados Unidos se procesan alrededor de 290 millones de neumáticos al año, con un 45% destinado a tecnologías de reciclaje avanzadas, como la pirólisis (Klean Industries, 2023)

La economía circular se ve potenciada a través de la pirólisis debido a la producción de subproductos valiosos como el negro de carbón y el aceite pirolítico. Estos productos tienen aplicaciones importantes en la industria automotriz y energética, generando ingresos estables. Según la Asociación Internacional de Pirólisis (IAP), el negro de carbón puede reducir los costos de producción de neumáticos hasta un 30% (International Carbon Black Association., 2024). A largo plazo, estos productos ofrecen soluciones sostenibles y viables desde una perspectiva económica.

Casos de éxito incluyen empresas como Beston Group y Klean Industries, líderes en tecnología de pirólisis, que han demostrado que las plantas de pirólisis pueden lograr retornos de inversión del 50% en los primeros 5 años de operación, con un bajo impacto ambiental (BestonGroup, 2024) (Klean Industries, 2023)

La pirólisis está ganando terreno en Latinoamérica gracias a iniciativas públicas y privadas que promueven la economía circular y la reducción de residuos.

Por ejemplo, en Argentina se instaló una planta de pirólisis en la provincia de Misiones que transforma aserrín en biocombustibles y biocarbón, un proyecto respaldado por el Ministerio de Ciencia (Noticias Positivas, 2014)

Además, el emprendedor Walter Rosner, también en Misiones, ha implementado pirólisis en su taller metalúrgico, logrando convertir residuos plásticos en combustible y exportando esta tecnología a otras regiones (iProfesional, 2023)

Beston Group ha exportado plantas de pirólisis a Argentina, donde se utilizan para procesar neumáticos y plásticos, convirtiendo residuos en productos valiosos como el aceite pirolítico y gas (BestonEco, 2023). Estos proyectos muestran el creciente interés y las oportunidades que la pirólisis ofrece en la región.

La Asociación Latinoamericana de Reciclaje (ALARE) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP) también respaldan iniciativas de pirólisis en países como Brasil, Chile y Colombia, donde se han implementado políticas de incentivo para fomentar el reciclaje mediante pirólisis (UNEP, 2023)

2. DESCRIPCIÓN DE LOS BIENES.

2.1 Negro de Carbón

El negro de carbón es un subproducto sólido obtenido durante el proceso de pirólisis de neumáticos. Se presenta en forma de polvo fino o gránulos de color negro intenso y posee propiedades físicas únicas, como alta absorción de luz, alta conductividad eléctrica y una notable resistencia al calor. Estas características lo convierten en un material esencial en diversas aplicaciones industriales. El negro de carbón se utiliza principalmente como agente de refuerzo en la fabricación de neumáticos y productos de caucho, donde su presencia mejora la resistencia a la abrasión, el desgaste y el envejecimiento de los materiales. Además, tiene aplicaciones en la industria de las tintas de impresión, plásticos, recubrimientos y adhesivos, donde actúa como pigmento y mejora las propiedades mecánicas de los productos finales. En términos energéticos, el negro de carbón posee un alto poder calorífico, lo que lo hace apto para ser utilizado en procesos industriales que requieran combustibles alternativos.

Usos finales: Entre los principales usos finales del negro de carbón se encuentran la fabricación de neumáticos, recubrimientos plásticos y tintas. En la industria automotriz, es un insumo clave para

aumentar la durabilidad de los neumáticos, mientras que en la industria del plástico, se utiliza para mejorar la resistencia de productos como cables y tuberías.

"El negro de carbón obtenido en el proceso de pirólisis tiene aplicaciones industriales en la fabricación de neumáticos, plásticos y tintas (International Carbon Black Association., 2024)



Figura 2: Negro de carbón

2.2 Chatarra de acero

La **chatarra de acero** es otro subproducto valioso derivado del proceso de pirólisis de neumáticos. Consiste en fragmentos de acero que provienen de los neumáticos, los cuales se separan antes o después del proceso de pirólisis. La chatarra de acero es un material de alta demanda en la industria siderúrgica, ya que es completamente reciclable y puede ser reutilizado sin perder sus propiedades mecánicas o su resistencia a la corrosión. En el proceso de reciclaje, la chatarra se funde para producir nuevos productos de acero que son utilizados en la construcción, la fabricación de maquinaria, o en la creación de estructuras metálicas

Usos finales: La chatarra de acero es ampliamente utilizada en la industria siderúrgica para la producción de nuevos materiales. También se utiliza en la fabricación de barras de refuerzo para la construcción, piezas automotrices y maquinaria industrial. Globalmente, cerca del 80% del acero disponible se recicla, lo que convierte a este subproducto en una fuente estratégica para la industria.



Figura 3: Chatarra de acero

2.3 Fuel Oil Pirolítico

El fuel oil pirolítico es un líquido oscuro y viscoso que se obtiene del proceso de pirólisis de neumáticos. Su composición química varía dependiendo de las condiciones de la pirólisis, pero generalmente está formado por una mezcla de hidrocarburos alifáticos, aromáticos y polares. Este subproducto destaca por su alto poder calorífico, que oscila entre 40 y 44 MJ/kg, lo que lo convierte en una fuente de energía valiosa para diversas aplicaciones industriales. El fuel oil pirolítico se utiliza como combustible en calderas, hornos y generadores eléctricos, reemplazando a los combustibles fósiles convencionales. Además, puede ser refinado para producir aceites de mayor calidad, como diésel o biocombustibles, lo que contribuye a la transición hacia energías más limpias y sostenibles.

Usos finales: Los principales consumidores del fuel oil pirolítico incluyen plantas industriales que lo utilizan como combustible en calderas, industrias cementeras y compañías de generación de energía. También se está evaluando su uso en la producción de biocombustibles, lo que abre una oportunidad de mercado en el sector del transporte.

"El fuel oil pirolítico se ha convertido en una fuente energética clave para la industria, especialmente en plantas industriales que buscan reducir su huella de carbono (BestonGroup, 2024)*."*



Figura 4: Fuel Oil Pirolítico

3. PRINCIPALES CONSUMIDORES.

Los principales consumidores de negro de carbón incluyen las fábricas de neumáticos, las fábricas de bandas para recauchutado y las fábricas de emulsiones asfálticas. Constituye entre un 20% y un 22% de la composición en peso de los neumáticos. El negro de carbón obtenido en el proceso de pirólisis se utiliza como agente de refuerzo y se añade al caucho. A medida que aumenta la cantidad de negro de carbón, aumenta la tensión de tracción del compuesto, disminuye el alargamiento y disminuye la deformación por compresión. Este material confiere propiedades esenciales al neumático, como resistencia al desgaste, durabilidad, tracción y resistencia a la abrasión. El porcentaje de negro de carbón usado en la fabricación del asfalto varía según varios factores, como el tipo de asfalto, el uso previsto y las especificaciones de cada proyecto. El rango de negro de carbono en el asfalto suele ser del 5 al 10 % en peso. También actúa como un refuerzo para el asfalto, mejorando su durabilidad y capacidad para soportar el estrés causado por el tráfico y las condiciones climáticas. Además, ayuda a reducir la reflectividad del pavimento, lo que contribuye a una mejor visibilidad en las carreteras.

Por otro lado, las cementeras se encuentran entre los principales consumidores de fuel oíl Pirolítico. Otras industrias: naviera, aeronáutica, fabricación de ladrillos, textil y química.

En cuanto al alambre de acero, son las industrias siderúrgicas las que lo utilizan como chatarra. En Argentina, la producción de acero se realiza mediante alto hornos que utilizan un 80% de mineral de hierro y un 20% de chatarra y también por medio de hornos eléctricos, que permiten la utilización de un

mix variable de chatarra y mineral de hierro, pudiendo llegar a un 100% de utilización de chatarra. Dando un promedio de uso de un 25% general en el uso de chatarra en la industria. Globalmente, cerca del 80 % del acero disponible se reutiliza o recicla de alguna forma. El nivel de reciclado de chatarra en nuestro país alcanza aproximadamente un 20 %, muy bajo con respecto al nivel alcanzado en los países desarrollados. La chatarra de acero es reciclable y puede ser reutilizada sin perder sus propiedades

4. PRECIO DE LOS PRODUCTOS

Basados en los mercados mundiales y nacionales los precios de los productos obtenidos del proceso a los cuales se comercializan son los siguientes:

Precio del negro de carbón: USD 0.05 por kg.

Precio del Fuel Oíl Pirolítico: USD 0.5 por litro.

Precio de la Chatarra de acero: USD 0.2 por kg.

5. MERCADO PROVEEDOR

Mediante este enfoque, aseguramos una cadena de suministro sólida y eficiente, impulsando así la capacidad para ofrecer productos de calidad y cumplir con las expectativas de los clientes.

1. Fabricantes de neumáticos: las empresas fabricantes de neumáticos en Argentina suelen ser proveedores importantes de NFU. Estas compañías gestionan los neumáticos usados que se retiran del mercado a través de programas de recolección y reciclaje.
2. Empresas de gestión de residuos: existen empresas especializadas en la gestión de residuos que se dedican específicamente a la recolección y procesamiento de los NFU. Estas compañías colaboran con fabricantes, talleres automotrices y otros actores para recolectar los neumáticos usados y darles un adecuado tratamiento.
3. Talleres y comercios automotrices: los talleres y comercios que se dedican a la venta, reparación y cambio de neumáticos también pueden ser proveedores de NFU. Estos establecimientos suelen recolectar los neumáticos usados y trabajar en conjunto con empresas de gestión de residuos para su correcta disposición.
4. Potenciales nuevos proveedores: La minería implica el uso intensivo de vehículos de gran tamaño, como camiones y maquinaria pesada, que requieren neumáticos resistentes y duraderos. A medida que estos neumáticos llegan al final de su vida útil en la industria minera, se convierten en un recurso valioso para la pirólisis. Al recoger estos neumáticos usados, se puede procesarlos mediante la pirolisis y obtener valiosos productos como negro de carbono, fuel oíl Pirolítico y otros subproductos.

Este posible aumento en la disponibilidad de neumáticos usados provenientes de la minería no solo brindaría una fuente de materia prima más amplia, sino que también contribuiría a la gestión sostenible de residuos. Al reciclar y reutilizar los neumáticos desechados de la minería, se ayuda a reducir la cantidad de residuos que van a parar a los vertederos y se evita posibles impactos ambientales negativos.

Para capitalizar esta oportunidad, es importante establecer colaboraciones estratégicas con empresas mineras y desarrollar un sistema eficiente de recolección y adquisición de neumáticos usados. Asimismo, se deben asegurar procesos de pirólisis eficientes y sostenibles que garanticen la obtención de productos de alta calidad.

6. PLATAFORMA PARA LA GESTIÓN Y RECOLECCIÓN DE MATERIA PRIMA

Consiste en crear una plataforma en línea innovadora y eficiente que facilite la gestión y recolección de neumáticos usados en todo el país. El objetivo es establecer una red sustentable de recolección de neumáticos, ofreciendo servicios en diferentes puntos geográficos.

La plataforma estará diseñada para que las empresas interesadas puedan registrarse de manera sencilla y rápida. Una vez registradas, podrán acceder a un panel de control donde podrán cargar los pedidos de retiro de neumáticos usados. Esto les permitirá gestionar de manera eficiente la recolección

de los neumáticos en sus instalaciones, evitando así la acumulación y disposición inadecuada de los mismos.

Una vez que las empresas carguen los pedidos de retiro, la plataforma coordinará la logística necesaria para el transporte de los neumáticos desde las instalaciones de las empresas hasta los puntos de recolección designados. Se deberá asegurar de contar con una flota de vehículos especializados y equipos adecuados para garantizar un manejo seguro y responsable de los neumáticos durante todo el proceso.

Las empresas recibirán un comprobante de retiro que certifica su correcta recolección y traslado cuando se recoja los neumáticos. Esto les proporcionará un registro documental para sus propios informes y cumplimiento de regulaciones ambientales.

6.1 Certificado de disposición final

Pero el compromiso de la empresa no termina ahí. Se garantiza que los neumáticos sean procesados de manera adecuada, evitando así impactos ambientales negativos. Al finalizar el proceso, se emitirá un certificado de disposición final de los neumáticos, que validará y respaldará la correcta gestión realizada.

El objetivo es brindar una solución integral y confiable para las empresas que necesiten gestionar sus neumáticos usados. Al unirnos a la plataforma, podrán acceder a una red extensa y confiable de recolección y disposición final de neumáticos, simplificando así su proceso de manejo y contribuyendo al cuidado del medio ambiente

7. LA PLANTA



Figura 5: Ilustración de la planta

La planta de pirólisis está diseñada para maximizar la eficiencia en la conversión de neumáticos fuera de uso (NFU) en productos valiosos, como negro de carbón, aceite pirolítico y chatarra de acero. Su diseño incluye varias áreas funcionales, cada una dedicada a un aspecto específico del proceso de pirólisis, garantizando un flujo de trabajo óptimo y seguro.

1. Diseño y Estructura General

La planta se compone de una edificación principal que alberga los equipos de procesamiento, así como áreas de almacenamiento para los NFU y los productos terminados. La estructura está construida con materiales resistentes a altas temperaturas y corrosión, garantizando la seguridad operativa y la durabilidad a largo plazo. La planta se organiza en un layout lineal que facilita el movimiento de materiales y productos a través de las diferentes etapas del proceso.

2. Componentes Principales

Trituradora: Esta máquina es responsable de reducir el tamaño de los neumáticos antes de ser introducidos en el reactor. La trituradora está equipada con cuchillas de alta resistencia que permiten separar los aros de acero y triturar el caucho, preparando así el material para la pirólisis.

Reactor Cilíndrico: El núcleo del proceso de pirólisis es el reactor cilíndrico rotatorio, diseñado para operar bajo condiciones controladas de temperatura y presión. Este reactor tiene la capacidad de alcanzar temperaturas de hasta 800 °C, lo que permite una descomposición térmica eficiente de los neumáticos. Su diseño rotatorio asegura una mezcla homogénea del material y evita la formación de aglomerados.

Sistema de Condensación: Compuesto por dos torres de condensación, este sistema separa los diferentes subproductos generados en el reactor. La primera torre está diseñada para capturar aceites pesados, mientras que la segunda torre recoge los aceites más livianos. Ambas torres están equipadas con sistemas de refrigeración que facilitan la condensación de vapores y gases.

Sistema de Recolección de Sólidos: Los residuos sólidos, principalmente el negro de carbón, son recolectados a través de un sistema de tornillos sin fin que los transporta a un área de enfriamiento, donde se procesan y se preparan para su comercialización.

La planta de pirólisis está equipada con sistemas de control de emisiones que garantizan que los gases y vapores liberados durante el proceso se gestionen adecuadamente. Se implementan filtros y sistemas de captura que reducen las emisiones nocivas y aseguran que se cumplan las normativas ambientales vigentes. Además, la planta cuenta con un plan de seguridad robusto que incluye protocolos de emergencia, capacitación del personal y equipos de protección.

8. PROCESO

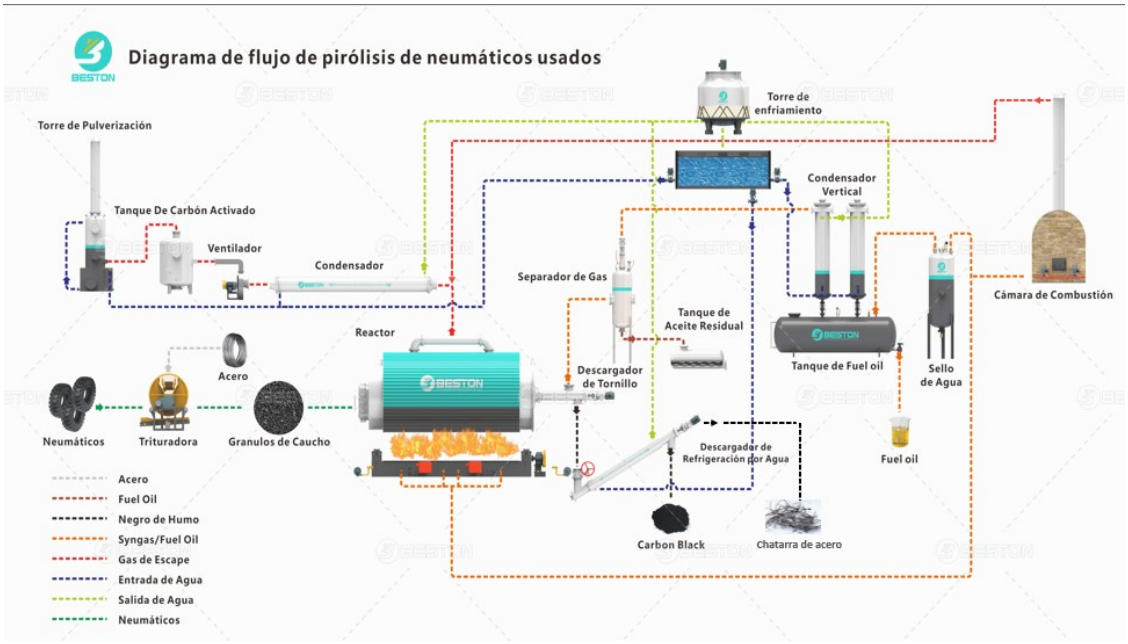


Figura 6: Diagrama de proceso

El proceso de pirólisis de neumáticos fuera de uso (NFU) tiene una duración de entre 14 y 16 horas. Se inicia con la llegada de los NFU a la planta, donde son acopiados y preparados para su tratamiento. En esta fase inicial, los neumáticos son trasladados a una trituradora, donde se separan los aros de acero. Posteriormente, el material triturado es ingresado en el reactor.

El reactor es una cámara cilíndrica rotatoria sellada, diseñada específicamente para operar a altas temperaturas y en un ambiente anaeróbico (sin oxígeno). En este entorno controlado, los neumáticos son sometidos a temperaturas que oscilan entre 300 °C y 800 °C, lo que provoca la descomposición térmica de los materiales. Durante este proceso, se liberan gases y vapores que contienen los componentes básicos de los neumáticos, como aceites, gases combustibles y residuos sólidos.

Los residuos sólidos son transportados mediante un tornillo sin fin, donde, por efecto de la gravedad, caen hacia otro tornillo sin fin refrigerado que se encarga de expulsar los productos a comercializar. Por su parte, los gases y vapores generados en el reactor son dirigidos a la primera torre de condensación. En esta torre, se separan los aceites más pesados, que pueden ser comercializados directamente o utilizados para iniciar el proceso de calentamiento del reactor. También es posible que estos aceites continúen hacia un proceso de fraccionamiento adicional.

Los gases restantes y los vapores más livianos continúan su trayectoria hacia la segunda torre de condensación, donde se recolectan los aceites más livianos y con propiedades superiores. Los gases que no se condensan pasan por un proceso de flotación en agua y son nuevamente dirigidos al reactor para ser utilizados como combustible. Los excedentes de gas, junto con los gases generados en el reactor, son quemados y conducidos hacia el condensador, donde, finalmente, pasan por un último proceso de flotación en agua y catalizadores antes de ser expulsados.

9. ESTUDIO ECONOMICO FINANCIERO

9.1 Cronograma de inversiones

El éxito del proyecto de pirolisis de neumáticos depende de una planificación financiera sólida que asegure la disponibilidad de recursos en cada fase del desarrollo. El esquema a continuación presenta un cronograma detallado de las inversiones, desde la fase inicial de planificación hasta la plena operación de la planta. Un hito importante dentro de este cronograma es la adquisición de un segundo equipo de pirolisis en el periodo 5. Esta inversión estratégica es clave para duplicar la capacidad de producción y, en consecuencia, aumentar significativamente los ingresos del proyecto. Al destacar esta inversión, se subraya la importancia de la escalabilidad en la proyección de ventas y en el crecimiento sostenible del proyecto.

Tabla 1: Cronograma de inversiones

INVERSIONES											
Etapa	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Etapa de inversión (valores en USD)											
Activos Fijos											
Terreno	210.000										
Edificio	305.900										
Equipo	90.000					110.000					
Montaje de Equipo	10.000										
Vehículos	265.767										
Equipos de seguridad	3.388		3.388		3.388		3.388		3.388		3.388
Herramientas de taller	8.500					8.500					
Amoblamiento	58.523										
IVA	197.836										
Activo intangible											
Estudios de ingeniería	1.753										
Gastos de organización	1.800										
Gastos hasta la puesta en marcha	55.002										
Intereses hasta la puesta en marcha											
Activo de Trabajo											
Activo de Trabajo	64.170										
Incremento Act. Trabajo						25.282					
Crédito											
Totales	**1.272.642**	**0**	**3.388**	**0**	**3.388**	**143.782**	**3.388**	**0**	**3.388**	**0**	**3.388**
Total, inversión inicial en USD	**1.433.369**										

9.2 Proyección de ventas

El siguiente esquema muestra la proyección de ventas para los primeros diez periodos del proyecto, destacando los tres principales productos generados: el aceite pirolítico, la chatarra de acero, y el negro de carbón. Como se puede observar, el aceite pirolítico constituye la mayor fuente de ingresos, seguido por la chatarra de acero, mientras que el negro de carbón genera ingresos menores. Es importante señalar que en el periodo 5 se proyectan ventas que duplican los primeros periodos, atribuida a la adquisición y puesta en marcha de un segundo equipo de pirolisis. Este incremento en la capacidad de producción permitirá un aumento significativo en la generación de ingresos, consolidando el crecimiento del proyecto. Además, se toma en consideración que los primeros periodos son de adaptación en un nuevo mercado, por lo que llegar a máxima capacidad puede llevar aproximadamente 3 periodos. Los valores están expresados en dólares.

Tabla 2:Proyección de ventas periodo 1-5

VENTAS					
Periodo	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Capacidad	**80,00%**	**90,00%**	**95,00%**	**100,00%**	**100,00%**
Negro de carbon	$57.600,00	$64.800,00	$68.400,00	$72.000,00	$144.000,00
Chatarra de acero	$115.200,00	$129.600,00	$136.800,00	$144.000,00	$288.000,00
Fuel oil	$864.000,00	$972.000,00	$1.026.000,00	$1.080.000,00	$2.160.000,00
Totales (USD)	**$1.036.800,00**	**$1.166.400,00**	**$1.231.200,00**	**$1.296.000,00**	**$2.592.000,00**

Tabla 3: Proyección ventas periodo 5-10

VENTAS					
Periodo	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Capacidad	**100,00%**	**100,00%**	**100,00%**	**100,00%**	**100,00%**
Negro de carbon	$144.000,00	$144.000,00	$144.000,00	$144.000,00	$144.000,00
Chatarra de acero	$288.000,00	$288.000,00	$288.000,00	$288.000,00	$288.000,00
Fuel oil	$2.160.000,00	$2.160.000,00	$2.160.000,00	$2.160.000,00	$2.160.000,00
Totales (USD)	**$2.592.000,00**	**$2.592.000,00**	**$2.592.000,00**	**$2.592.000,00**	**$2.592.000,00**

9.3 Indicadores de rentabilidad

En la evaluación de proyectos, la toma de decisiones financieras se basa en diversos indicadores clave que permiten determinar la viabilidad y rentabilidad del proyecto. El análisis incluye el cálculo del Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el período de recuperación. Estos indicadores proporcionan una visión integral del rendimiento esperado del proyecto.

Tabla 4: Indicadores de rentabilidad expresados en USD

INDICADOR	RESULTADO
TASA DE DESCUENTO	10,00%
INVERSIÓN TOTAL	$1.433.369,25
VAN	$996.214,79
TIR	21%
PERÍODO DE RECUPERO	7 AÑOS
PUNTO DE EQUILIBRIO MP año 1 a 4	61%
PUNTO DE EQUILIBRIO MP año 5 a 10	33%

10. CONCLUSION

La implementación del proyecto de pirólisis de neumáticos no solo representa una inversión económicamente viable, sino que también se destaca como una solución ambiental significativa al abordar el problema del desecho de neumáticos usados. Al transformar residuos peligrosos en recursos útiles como aceite, negro de carbón y gas, se contribuye a la reducción de la contaminación y se promueve un ciclo de reciclaje más consciente y responsable en la sociedad. Además, el proyecto tiene el potencial de generar empleo local, ofreciendo nuevas oportunidades laborales y fortaleciendo la economía regional. De esta manera, la pirólisis de neumáticos se posiciona como una iniciativa clave en la transición hacia una economía circular y sostenible.

11. REFERENCIAS

Klean Industries. (2023). Obtenido de https://www.kleanindustries.com

Noticias Positivas. (2014). Obtenido de https://noticiaspositivas.org/primera-planta-pirolisis-misiones/

BestonEco. (2023). Obtenido de https://www.bestoneco.com/blj-3-planta-pirolisis-en-argentina/

BestonGroup. (2024). *Beston Group*. Obtenido de https://www.bestongroup.com/es/tyre-pyrolysis-oil/

García, M. &. (2023). Pirólisis como tecnología para la gestión integral de residuos: una visión de futuro. *Boletín Latinoamericano de Ingeniería Ambiental 21(4)*, 78-89.

Holcim Argentina. (2024). Obtenido de https://www.holcim.com.ar

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de la República Argentina. (2024). Obtenido de https://www.indec.gob.ar

International Carbon Black Association. (2024). Obtenido de https://www.carbon-black.org

iProfesional. (2023). Obtenido de https://www.iprofesional.com/energia/389858-como-volver-al-futuro-argentino-produce-combustible-con-residuos

Loma Negra. (2024). Obtenido de https://www.lomanegra.com/sostenibilidad

UNEP. (2023). Obtenido de https://www.unep.org/es

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer a la Universidad de Mendoza por la formación y acompañamiento en todo el proceso, sobre todo a nuestro tutor Ingeniero Patricio Gonzalez Viescas por su dedicación y amor por la enseñanza. Al COINI por permitirnos ser partícipes de esta edición. También al personal de las empresas Holcim, Mantello Neumáticos y ASOLAM chile, los cuales aportaron de manera desinteresada con generosidad y solidaridad información extremadamente útil para contribuir a la recolección de información. Por último a nuestras familias, las cuales estuvieron presente en cada paso del proyecto, dando todo su apoyo para que los autores pudiéramos completar los objetivos previstos.

" TRANSPORTE DE CARGA EN ARGENTINA: BENEFICIOS DEL CAMBIO A GNC"

Gerstner, Ingrid; Oostdyk, Facundo; Vallejos, Santiago

Universidad Tecnológica Nacional - FRSF
ingrugerstner@gmail.com; facundotres@gmail.com; santyvallejos_sua@hotmail.com

RESUMEN

Argentina se destaca como país agroexportador, con estimaciones de 82 millones de toneladas de materia prima para exportar en 2024. El transporte de mercancías hacia los puertos se realiza principalmente mediante camiones, que abarcan el 90% de la demanda. Sin embargo, el uso de combustibles fósiles como el diésel en estos medios genera emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes, afectando la calidad del aire, salud y cambio climático. El sector transporte enfrenta una creciente presión para reducir sus emisiones. El GNC es una opción más limpia, reduciendo un 20% las emisiones y un 95% el material particulado respecto al diésel. Aunque los vehículos de GNC tienen un costo inicial más alto, son más rentables a largo plazo debido al menor costo del combustible. La metodología utilizada incluyó la recopilación de información sobre contaminación, análisis de la evolución histórica del transporte, análisis de impacto en costos, estudio del mercado de camiones a gas en Argentina y revisión de normativas sobre modificación de vehículos. El estudio concluye que cambiar los motores de diésel a GNC es factible y beneficioso, permitiendo disminuir costos y emisiones de gases de efecto invernadero. Es importante desarrollar infraestructura para el transporte y fomentar la sustentabilidad y cooperación entre el gobierno, fabricantes y distribuidoras de gas para adoptar esta tecnología en el país.

Palabras Claves: Emisiones, Transporte, GNC, Costo, Diésel.

ABSTRACT

Argentina stands out as an agro-exporting country, with estimates of 82 million tons of raw materials to be exported in 2024. The transportation of goods to ports is carried out mainly by trucks, which cover 90% of demand. However, the use of fossil fuels such as diesel in these media generates greenhouse gas emissions and pollutants, affecting air quality, health and climate change. The transport sector faces increasing pressure to reduce its emissions. CNG is a cleaner option, reducing emissions by 20% and particulate matter by 95% compared to diesel. Although CNG vehicles have a higher initial cost, they are more cost-effective in the long run due to the lower cost of fuel. The methodology used included the collection of information on pollution, analysis of the historical evolution of transportation, cost impact analysis, study of the gas truck market in Argentina and review of regulations on vehicle modification. The study concludes that changing diesel engines to CNG is feasible and beneficial, allowing costs and greenhouse gas emissions to be reduced. It is important to develop transportation infrastructure and promote sustainability and cooperation between the government, gas manufacturers and distributors to adopt this technology in the country.

Keywords: Emissions, Transport, CNG, Cost, Diesel.

1. DESARROLLO

1.1. Introducción al tema

El presente trabajo se enmarca en el PID cuyo código es TVTCFE0010031TC, y se titula: "Propuestas para la disminución de los costos logísticos en el transporte de carga en el corredor de la Ruta Nacional Nº 11, tramo Rosario – Formosa".

A modo introducción, se conoce que Argentina es un país que desde hace muchos años se destaca por la amplia posibilidad de desarrollarse como agroexportador. En base a esto, las exportaciones agroindustriales son transportadas hacia los puertos a través de diferentes medios de trasporte para luego ser distribuidas alrededor de todo el mundo.

Para 2018, estudios realizados analizaban que el mercado de transporte de carga en la Argentina se estimaba ascender a 450 millones de toneladas por año, sumando las cargas por camión, ferrocarril, aéreas y las que bajaban o subían por la Hidrovía Paraná- Paraguay desde los Puerto de Santa Fe hasta Puerto Cáceres (Brasil). De ese total, el 91% se trasladaría en camión, 4,2% por ferrocarril, 4,8% por la hidrovía y menos de un 0,1% por modo aéreo (en este caso, computando internacionales, de cabotaje y correo) (Bolsa de Comercio de Rosario, 2018).

Como contraste, la situación del corriente es la siguiente. Los datos cuantitativamente hablando reflejaron estimaciones de un 16% en ferrocarril (aumento), 0,6% por barcazas (disminución) y un 83,4% (disminución) en camiones. Las variaciones de los valores porcentuales se deben a múltiples razones, entre ellas, los costos.
Para 2024, traduciendo el porcentaje de camiones, se obtiene un resultado de 2,7 millones de camiones circulando a lo largo y lo ancho del país. Analizando el volumen de movimiento de materia prima, se estima 82 millones de toneladas por año, dándole a la logística un rol importante e influyente en cuanto al transporte carretero, quien traslada la gran mayoría de estos productos (Bolsa de Comercio de Rosario, 2023).

Como puede ver en la Tabla 1, a lo largo de los años, salvo en 2018 en consecuencia de la sequía, la demanda de camiones posee una tendencia positiva.

Tabla 1 Transporte de granos sin bitrenes.

Año	Toneladas transportadas	Tránsito anual de camiones sin bitrenes
2017	72.102.867	2.575.102
2018	52.102.867	1.860.817
2019	72.102.867	2.575.102
2020	72.823.896	2.600.853
2021	73.552.135	2.626.862
2022	74.287.656	2.653.131
2023	75.030.533	2.679.662
2024	75.780.838	2.706.458
2025	76.538.646	2.733.523
2026	77.304.033	2.760.858
Variación 2017/2026	5.201.166	185.756

Fuente: Bolsa de comercio de Rosario.

1.2. Camiones

Para centrarse en el medio de transporte de interés de este informe, se comenzará con una breve descripción de estos. Los camiones de carga son vehículos destinados al transporte de mercaderías, con motores a combustión interna. Históricamente su combustible utilizado es el gasoil, aunque hoy se tiene cambios innovadores en el sector como motores 100% eléctricos, impulsados por biodiésel, Gas Natural Comprimido (GNC) o Gas Natural Licuado (GNL), entre otros.

Esta industria cuenta con una gran diversidad de modelos y marcas, que varían según la capacidad de carga y el tipo de producto transportado. El enfoque de investigación de este informe se centra en los camiones articulados, donde a un tractor se le acoplan uno o más remolques. Los más comunes son los semirremolques, que tienen un eje delantero en el tractor y dos o más ejes en el remolque. Una descripción más precisa se puede apreciar en la Figura 1.

Actualmente, si bien, un alto porcentaje de camiones sigue usando como combustible el gasoil, distintas marcas reconocidas mundialmente como Iveco, Scania, Volvo, Mercedes-Benz y

Volkswagen trabajan innovando con nuevas tecnologías para el cuidado del medio ambiente, ya que los camiones son una gran fuente de contaminación ambiental. Además, se estima que podrá disminuir el costo operativo hasta un 40%, lo que generaría un impacto económicamente positivo en los transportes.

En Argentina se podría decir que es *el momento del GNC*, dado que el país cuenta con una de las reservas de gas natural más importantes del mundo. La construcción del gasoducto de "Vaca Muerta" podrá eficientizar la utilización de este recurso (La Nación, 2023)

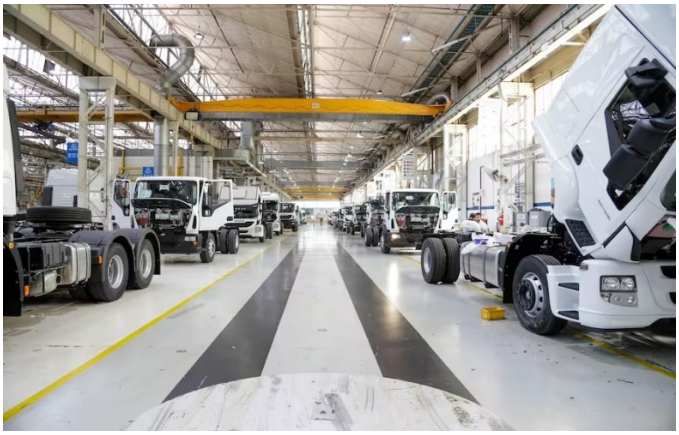


Figura 1 Camiones se suben a la ola verde.

Fuente: La Nación (2023).

En 1995 el Congreso Nacional aprobó la Ley de Tránsito Nº 24.449. La cual menciona:

> *"Con el fin de regular el uso de la vía pública, y se aplican a la circulación de personas, animales y vehículos terrestres en la vía pública, y a las actividades vinculadas con el transporte, los vehículos, las personas, las concesiones viales, la estructura vial y el medio ambiente, en cuanto fueren con causa del tránsito. Quedan excluidos los ferrocarriles. Será ámbito de aplicación la jurisdicción federal. Podrán adherir a la presente ley los gobiernos provinciales y municipales". (Ley Nacional de Tránsito N° 24.449, 1995).*

En el artículo Nº53, se encuentran las reglas aplicadas al transporte de cargas y pasajeros, con el objetivo de un sistema de transporte automotor que proporcione un servicio eficiente, seguro y económico, con la capacidad necesaria para satisfacer la demanda y que opere con precios libres.

Un punto interesante para destacar de este artículo, además de las especificaciones técnicas y dimensionales, es la relación entre potencia-peso tiene vinculación directa con aspectos de seguridad vial, las emisiones de gases efecto invernadero y gases contaminantes, la confiabilidad de las unidades e incluso la productividad de la infraestructura vial. Por este motivo se realizaron modificaciones del artículo en 2018 con la incorporación de bitrenes, aumentando la capacidad de carga de 42 [Tn] en bruto a 75 [Tn]. En el mismo sentido, se aumentó la capacidad mínima obligatoria de relación potencia-peso, paso de 3,5 [CV/Tn] a 4,5 [CV/Tn]. (Ministerio de transporte de la Nación, 2019).

Se pueden encontrar distintos tipos de camiones y diferentes capacidades de cargas, como se visualiza en la Figura 2.

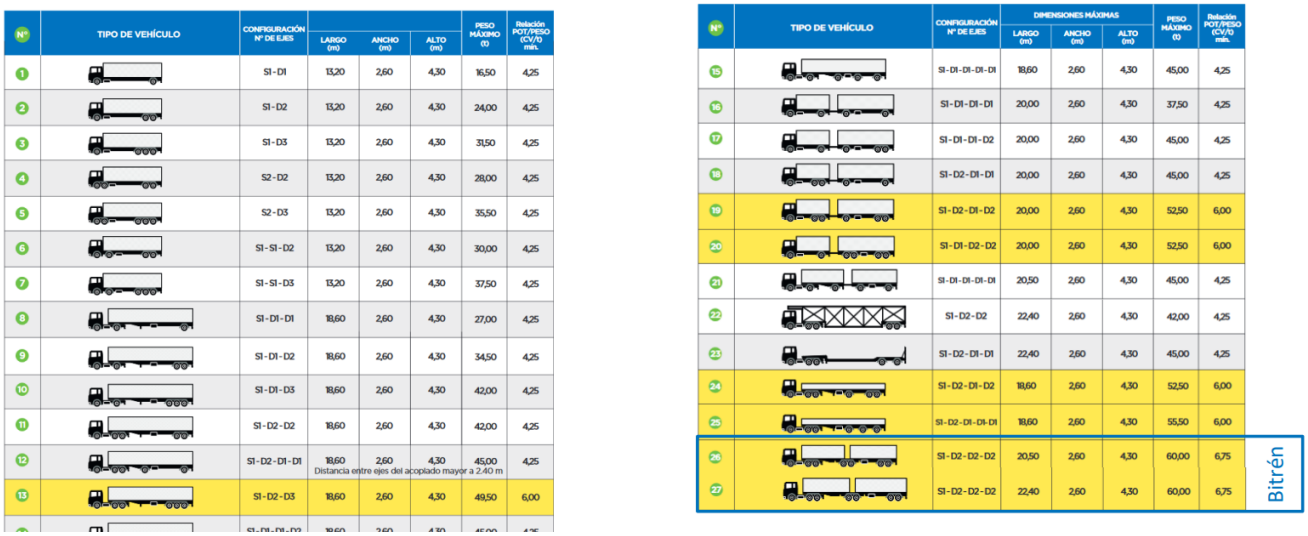


Figura 2 Tipo de vehículo y capacidades.

Fuente: Ministerio de Transporte de la Nación (2019).

El Plan Federal Estratégico de Transporte, Movilidad y Logística realizó un informe en 2016 con 700.000 unidades aproximadamente. El 60% correspondería a unidades utilizadas para uso propio y el 40% restante a empresas de transporte, notándose que la estructura de la flota es muy distinta entre ambos segmentos ya que a medida que aumenta la capacidad de carga, disminuye la presencia del transporte propio.
La Tabla 2 resume la estructura del parque vehicular en base a estos elementos.

Tabla 2 Estructura parque vehicular.

ESTRUCTURA DEL PARQUE VEHICULAR DEL TRANSPORTE CARRETERO DE CARGAS			
GRUPO	PARQUE PARA TERCEROS	PARQUE PARA USO PROPIO	TOTAL DE UNIDADES
Camiones	30%	70%	100%
Livianos	15%	85%	100%
Medianos	64%	36%	100%
Pesados	73%	27%	100%
Tractores	80%	20%	100%
Medianos	87%	13%	100%
Pesados	79%	21%	100%
Acoplados	83%	17%	100%
Medianos	62%	38%	100%
Pesados	84%	16%	100%
Semirremolques	78%	22%	100%
Medianos	73%	27%	100%
Pesados	78%	22%	100%
TOTAL DE UNIDADES	41%	59%	100%

Fuente: Bolsa de comercio Rosario (2016)

La antigüedad del parque vehicular se aprecia en la Tabla 3, diferenciado entre las unidades que lo componen, arrojando como resultado que la edad promedio siempre es más alta del transporte propio. Por obvias razones, la inversión que conlleva adquirir una unidad nueva es demasiado significativa. Si se hace referencia al transporte para terceros, la antigüedad promedio no supera

los 12 años, en cuanto a transporte propio, si se realiza un promedio, se está hablando de 18 años aproximadamente. (Bolsa de Comercio de Rosario, 2016)

Tabla 3 Antigüedad parque vehicular.

ANTIGÜEDAD DEL PARQUE VEHICULAR (en años)				
VEHÍCULOS	TOTAL DE UNIDADES	TRANSPORTE PROPIO	TRANSPORTE PARA TERCEROS	
			Tráficos	Tráficos
			Interjurisdiccionales	Provinciales
Camiones	11,9	18	10,2	11,2
Tractores	11,6	19,4	8,3	9,1
Acoplados	16,1	45,4	11,1	12,2
Semirremolques	11,9	23,7	7,6	8,4
TOTAL	13,4	19,7	9,9	11,3

Fuente: Bolsa de comercio Rosario (2016)

1.3. Introducción de alternativas al diésel

Si se realiza una evaluación del uso de diésel contra otros tipos de combustible, por un lado, está el GNC, el cual tiene un rendimiento similar al del diésel, con la ventaja que reduce hasta un 90% de las emisiones de dióxido de nitrógeno, 99% de las partículas y hasta un 95% de las emisiones de dióxido de carbono cuando se emplea bio metano.

La infraestructura de carga para este combustible aún no está tan desarrollada como la de la nafta, lo que puede dificultar el abastecimiento de algunas zonas. Además, el tiempo de carga de los vehículos GNC suele ser mayor que el de los vehículos a nafta o diésel. En el caso del gas se podría estimar que se requiere el triple del tiempo de carga en comparación, y eso puede afectar la eficiencia de las operaciones logísticas**.**

Otra alternativa al GNC es el Gas Licuado De Petróleo (GLP), un tipo de combustible usado en vehículos, hogares e industrias. Se compone de propano y butano, que son hidrocarburos derivados del petróleo o del gas natural. Esta alternativa emplea beneficios como un menor impacto ambiental (produce menos emisiones contaminantes), es más económico que la nafta o el diésel, tiene una mayor eficiencia energética dado a un mayor poder calorífico, permite una mayor vida útil del motor al reducir el desgaste interno por su combustión más limpia y reducción de los depósitos de carbono.

El Gas Licuado De Petróleo Automotor (GLPA) resulta hasta un 50% más barato que la nafta. Pero en el transporte pesado, la diferencia es aún mayor, alcanzando hasta el 64% en el gasoil premium. Raúl Persoglia el titular de Sifer Gas, explicó que el equipo (motor Scania Diésel) opera de manera “híbrida”, utilizando ambos combustibles a la vez. Consta de cuatro tanques que cargan 100 litros cada uno y asegura que tiene una autonomía de 2340 [km] reemplazando el 42% del diésel por GLP (Redacción surtidores, 2023).

Por último, otra de las alternativas fuera de lo convencional es la utilización de hidrógeno, un modelo aproximado se puede ver en la Figura 3. El concepto se basa en camiones de pila de combustible alimentados por hidrógeno. Como ventaja, solo emiten vapor de agua, por ende, no emite vapores de escape. Son adecuados para largas distancias cuando la infraestructura de las rutas no permite recargar las baterías fácilmente (Volvo, 2023). En cuanto a las marcas lideres, hoy ya existen prototipos de prueba de la marca Volvo, la cual utilizará dos pilas de combustible para generar 300 [W] en energía eléctrica. Como desventaja de esta alternativa se tiene que se espera empezar a ver modelos a partir de 2026.



Figura 3 Prototipos alimentados por hidrógeno verde.

Fuente: Volvo (2023).

1.4. Costos

El área de transportes tiene como función proveer la logística necesaria para transportar el producto final al cliente. Entre los indicadores que se miden en el área está las varias máquinas, hora de choferes, volumen despachado, productividad, tiempo de espera en planta, entre otros. Hoy, los costos asociados a transporte se estiman un 10% del costo de la producción (Gonzales Yllanes, 2018). Se puede observar un diagrama *causa efecto* donde se analizan los componentes de los altos costos del transporte de cargas (Figura 4).

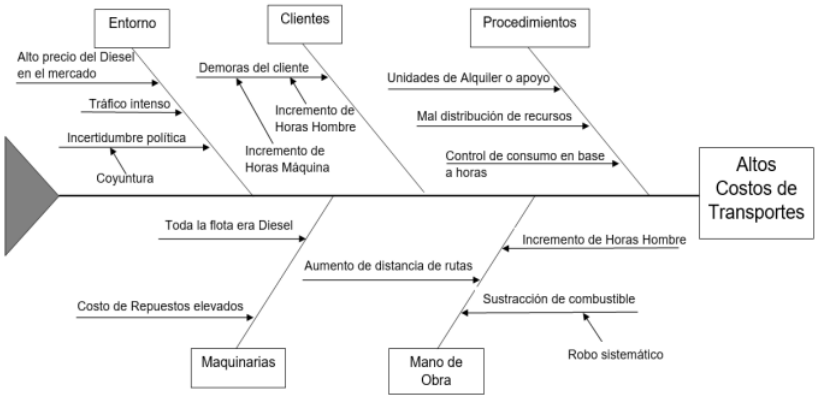


Figura 4 Diagrama causa – efecto sobre los altos costos de transporte.

Fuente: Gonzales Yllanes (2018).

Un camión de motor Diésel consume entre 30 y 40 [litros] de gasoil cada 100 [km] (Gesruta, 2022) y el 6% de ese consumo de combustible, en urea, lo que representa 2 [litros] de urea cada 100 [km] (Andretich C., 2016).

Por otro lado, un camión propulsado a GNL requiere de 20 a 28 [kg] cada 100 [km], dependiendo de la marca, el tipo de terreno recorrido, la velocidad y la carga que traccione. Los camiones marca Volvo son los más económicos, al consumir entre 20 y 23 [kg] cada 100 [km]; le siguen los Scania, necesitando más de 23 a 25 [kg] para recorrer 100 [km]; por último, en el caso de IVECO, el mismo modelo requiere entre casi 23 y 28 [kg] cada 100 [km].

En cuanto a un camión a base de GNC, se necesitarían 0,16 [m^3] o bien, 150 [litros] cada 100 [km] (a una presión de 200 [bar]).

En la Tabla 4 se visualiza un breve resumen, en el cual han sido utilizadas conversiones de la Tabla 5.

Tabla 4 Comparativa entre consumos de motores.

Tipo de motor	Consumo
Motor Diésel promedio	30 – 40 litros / 100 km
Motor GNL Volvo	20 – 23 kg / 100 km
	0,046 – 0,053 m^3 / 100 km
Motor GNL Scania	23 – 25 kg / 100 km
	0,046 - 0,053 m^3 / 100 km
Motor GNL Iveco	23 – 28 kg / 100 km
	0,046 - 0,065 m^3 / 100 km
Motor GNC	0,16 m^3 / 100 km
	155 litros / 100 km

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5 Densidad del gas.

Tipo de motor	Densidad	Temperatura	Presión
Gas natural	0,737 kg /m^3	15 ºC	1 atm
GNC	158,49 kg /m^3	15 ºC	200 bar
GNL	431,0 kg /m^3	-161 ºC	1 atm

Fuente: GASNAM.

Tanto el diésel como el GNL son adecuados para cualquier tipo de transporte, mientras que el GNC está más orientado hacia entornos urbanos. Como observación a los valores recién mencionados, según Julián Rosso, jefe de Ingeniería de Ventas de Scania Argentina, el consumo es sumamente variable dependiendo de la operación del cliente, se pueden encontrar diferencias significativas en dos camiones idénticos que operan en distintas condiciones. Cabe destacar que los camiones a gas no utilizan urea (aditivo que emplean los motores diésel para ajustarse a los niveles de emisión Euro V y VI).

1.5. Legislación sobre la adquisición de camiones.

En cuanto al marco jurídico, la Resolución 131/2003 de la Secretaría de Energía dice:

> Que el Gas Licuado de Petróleo (GLP) por sus características técnicas es apto para el uso automotor, avalado por la experiencia internacional de su uso bajo condiciones de seguridad adecuadas.
>
> Que la sustitución de combustibles líquidos por el GAS LICUADO DE PETROLEO AUTOMOTOR, (GLPA) con el actual grado de desarrollo de la tecnología, trae ventajas para la preservación del medio ambiente al mejorar la calidad de las emisiones de escape de los vehículos. (Resolución 131/2003, Secretaría de Energía, 2003).

Mediante lo recién mencionado, hablando el uso de este tipo de combustible, se abren dos posibilidades para convertir la flota de camiones de gasoil a gas. Una es hacer la conversión de los

vehículos existentes; en ese caso, la unidad va a poder utilizar alternativamente su combustible original (nafta o gasoil) o bien, GNL. La otra, es la adquisición de unidades que ya cuenten con el cambio del sistema de suministro de combustible.

Este tipo de conversión puede ser realizado en distintos entes autorizados en el país, los cuales se identifican como “Talleres de Montaje Certificados según NAG E – 408”, esta última normativa, desarrollada en 2005 se titula “Especificación Técnica para la Certificación de la aptitud técnica de Talleres de Montaje para GNC”.

Para 2019 se publicó la Norma NAG-451 se titula “Procedimiento para la habilitación de vehículos importados, propulsados mediante el uso de gas natural”, mientras que para 2021, se dio a conocer normativa NAG 452, titulada “Habilitación de vehículos para transporte, producidos en Territorio Nacional y propulsados mediante gas natural”.

En la página de ENERGAS, es posible encontrar según la clasificación de sujetos como talleres de montaje certificados, las distintas referencias de los talleres filtrados por provincia (ENERGAS, s.f.).

1.6. Medioambiente

En la actualidad, las empresas han asumido al medio ambiente como parte de su entorno, los empresarios son conscientes que su presencia tiene un impacto en el medio ambiente y buscan reducirlos.

Como se ha ido mencionando a lo largo de este trabajo, el GNC es una de las fuentes de energía más limpias y respetuosas con el medio ambiente, su consumo resulta menos nocivo para la capa de ozono, ya que, en su combustión, se reducen las emisiones de óxido de nitrógeno (NOx) en un 80% y de hidrocarburos reactivos, que forman el ozono a nivel del suelo, el ingrediente principal del smog, hasta en un 95% (RPP, 2017).

Desde la perspectiva ambiental, considerando que el transporte es el responsable del 25% de las emisiones del planeta, es relevante la baja de las emisiones de CO_2 alcanzada a partir de usar gas como combustible, en comparación con el gasoil, en el orden del 15-20%, pero mucho mayor si se usa biometano como materia prima del combustible, que se estima en el 90-95%. También desde la óptica del cuidado del medio ambiente, hay que destacar el funcionamiento silencioso del motor, en comparación con el diésel, adaptándose a los requerimientos acústicos para entregas nocturnas (Barreña M., et al.,2023).

Se presenta una evaluación de las emisiones de carbono en el sector del transporte argentino, junto con algunas oportunidades de mitigación. Estas emisiones representan el 17% de las emisiones netas de carbono del país en 2008, que fueron de 52 teragramos (equivale a 10^6 toneladas). El subsector de carga es el principal contribuyente, con el 55% (22 [Tg]), seguido por los vehículos particulares a gasolina con el 35% (13 [Tg]), y el transporte público con el 5% (2,5 [Tg]) (Puliafito, S., Castesana, P.,2010).

Se han considerado dos alternativas de mitigación para el sector de carga: la sustitución modal de camiones por trenes y la introducción de camiones bi-trenes. En el ámbito automotor, se proponen dos opciones de conversión a GNC y una tercera que incrementa la participación del transporte público mediante ferrocarriles suburbanos, subterráneos y autobuses.

Durante un período de 40 años (2010-2050), se estima que estas medidas podrían reducir entre 280 [Tg] y 600 [Tg] (aproximadamente el 15% del escenario base) con ahorros acumulados de hasta 700 mil millones de USD (o el 9% del costo base), dependiendo de la combinación de escenarios implementados.

El GNC representa una alternativa económica y ambientalmente amigable de combustible, que contribuye a la preservación del medio ambiente y la mejora de la calidad del aire. En contraste con los altos niveles de contaminación asociados al consumo masivo de gasolina y diésel en vehículos convencionales, los vehículos que emplean GNC presentan emisiones considerablemente reducidas, mitigando así los costos sociales vinculados a la combustión de combustibles fósiles.

El GNC ofrece una serie de ventajas medioambientales:

- Su distribución a través de redes de gasoductos y cañerías garantiza un transporte rápido y seguro, minimizando el riesgo de accidentes, derrames y contaminación ambiental.

- Las emisiones de contaminantes atmosféricos como monóxido de carbono, hidrocarburos no quemados, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y gases del cárter se reducen significativamente en comparación con los vehículos que emplean gasolina y diésel, promoviendo así un entorno más limpio y saludable.
- El uso de GNC también contribuye a la mitigación del efecto invernadero.

En la actualidad, la transición hacia el uso de GNC en el parque automotor responde a la necesidad de reemplazar combustibles líquidos con alternativas menos perjudiciales para el medio ambiente. Esta tendencia refleja el impulso global hacia la diversificación energética, promovida por la mayoría de los estados como una medida para reducir la dependencia de los combustibles fósiles y mitigar los impactos ambientales asociados. En suma, el empleo de GNC como combustible vehicular puede contribuir significativamente a la creación de un entorno más sostenible y habitable para las generaciones futuras.

1.7. Normas Euro

En Unión Europea se han reglamentado las emisiones de los vehículos, dada la preocupación por el crecimiento de las emisiones contaminantes y para evitar que difieran entre los Estados miembros, asegurando un elevado nivel de protección medioambiental. En 1992 entró en vigencia la Euro I, para vehículos pesados, y desde entonces han evolucionado hasta las actuales normas Euro V y VI, que se encuadran en el programa “Aire puro para Europa” (de 2001); su objetivo es reducir las emisiones de partículas, como los óxidos de nitrógeno, hidrocarburos.

Un motor diésel que cumple con las normas de emisiones Euro VI tiene características específicas para reducir la contaminación. Ellas establecen límites estrictos para las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx), partículas de hollín y otros contaminantes (Planeta camión, 2023). Estos motores, utilizan el conocido sistema de SCR (Rectificador Controlado de Silicio, proveniente de la norma anterior) para reducir las emisiones de NOx. Este sistema inyecta urea en los gases de escape, lo que descompone los óxidos de nitrógeno en nitrógeno y agua inofensiva.

También así, estos nuevos modelos están equipados con un DPF (Filtro de Partículas Diésel), que atrapa y elimina las partículas de hollín en los gases de escape. El DPF se regenera automáticamente quemando las partículas acumuladas a altas temperaturas. Además de incluir el sistema SCR, un motor Euro VI utiliza también sistemas de Recirculación de Gases de Escape (EGR) para reducir las emisiones de NOx. Parte de los gases de escape se redirige y se mezcla con el aire fresco de admisión, reduciendo así la temperatura de combustión y la formación de NOx.

También así, este último modelo, utiliza el mismo combustible que los motores diésel Euro V, es decir de grado 3 aditivado, no es que exista un tipo de combustible especifico. Como única distinción, debe cumplir con ciertas especificaciones de calidad y limites, como, por ejemplo, límites para el contenido de azufre, el índice de cetano, la densidad, la viscosidad, el contenido de aromáticos y otros parámetros importantes para garantizar el buen funcionamiento del motor y la reducción de emisiones.

Para reducir los impactos de los vehículos pesados sobre la salud, el gobierno argentino ha lanzado de manera progresiva normas sobre emisiones más estrictas, hasta llegar a las normas Euro V en 2016. Así también, la mayoría de los vehículos pesados nuevos en Argentina provienen de Brasil, que tiene previsto implementar la norma Euro VI a partir de 2022 para nuevos modelos y 2023 para todas las ventas nuevas (Braun C., Miller J., 2020).

En cuanto al uso del GNC, también es ventajoso económicamente que los camiones alimentados con gas natural (fósil o renovable) no usen urea como aditivo, como los motores diésel, para adaptarse a los niveles de emisión Euro V y VI (Barreña M., et al., 2023).

1.8. Análisis de una situación hipotética

En esta sección, se realizará una comparación hipotética entre un camión que utiliza diésel y otro que utiliza GNC en un viaje de 1000 [km].

Para este análisis, se supone un camión promedio, que consume aproximadamente 30 [litros] de diésel cada 100 [km]. Para un viaje de 1000 [km], esto equivale a 300 [litros] de diésel. La combustión de 1 [litro] de diésel genera aproximadamente 2,68 [kg] de CO_2 (Rodríguez et al, 2020). Por lo tanto, el total de emisiones de CO_2 para el viaje sería lo que se visualiza en la Ecuación 1.

$$300 \text{ litros} \times 2{,}68 \text{ kg } CO_2/\text{litro} = 804 \text{kg } CO_2 \quad (1)$$

En cuanto a los costos de este viaje, suponiendo un valor de 1032 [$/litro] (agosto 2024), el valor de este viaje de 1000 [km] considerando el combustible sería del valor que muestra la Ecuación 2.

$$300 \text{ litros} \times 1032 \text{ \$/litro} = {}_{\$} 309.600 \quad (2)$$

Por otro lado, un camión que utiliza GNC tiene un consumo promedio de aproximadamente 31 [m^3] de GNC cada 100 [km]. Para un viaje de 1000 [km], esto equivale a 310 [m^3] de GNC. La combustión de 1 [m^3] de GNC genera alrededor de 2,4 [kg] de CO_2 (Gil et al., 2018). Por lo tanto, el total de emisiones de CO_2 para el viaje sería lo que se visualiza en la Ecuación 3.

$$310 \text{ m}^3 \times 2{,}4 \text{ kg } CO_2/\text{m}^3 = 744 \text{ kg } CO_2 \quad (3)$$

Acerca del costo equivalente de este viaje, siendo el precio por 656 [$/$m^3$] (agosto 2024), el monto de dinero estimado para el viaje de 1000 [km] se visualiza en la Ecuación 4.

$$310 \text{ m}^3 \times 656 \text{ \$/ m}^3 = \$ \ 203.360 \quad (4)$$

La comparación revela que el camión a GNC emite aproximadamente un 7% menos de CO_2 en comparación con el camión diésel durante un viaje de 1000 km, y en cuanto a los costos, la elección por gas reduce un 34% el monto a pagar (Argentina, agosto 2024).

Esta diferencia resalta el potencial del GNC como una opción más sostenible en el transporte de mercancías, contribuyendo así a la reducción de la huella de carbono y al cumplimiento de los objetivos ambientales, sin olvidar la contribución económica que genera. Es importante considerar que, además de las emisiones de CO_2, otros factores como las emisiones de NOx y partículas también deben ser evaluados para obtener una visión completa del impacto ambiental de cada tipo de combustible. Sin embargo, en términos de huella de carbono, el GNC se presenta como una alternativa más favorable en esta comparación hipotética.

3. CONCLUSIONES

La eficiencia es un factor clave que beneficia a las alternativas de gas, haciéndolas muy atractivas en un contexto global donde los márgenes son ajustados y cada proceso debe aprovecharse al máximo.
Reducir el costo operativo en el transporte, mejorando el costo por kilómetro, es esencial. Ante posibles aumentos en el precio del diésel, se considera vital explorar otras opciones, dado que el mercado tiende a preferir camiones más eficientes.
Mientras que la tecnología ya está siendo ampliamente adoptada en otros mercados; se enfatiza la importancia de desarrollar infraestructura para el transporte en el país y trabajar de manera coordinada entre el Gobierno, los fabricantes, las petroleras, los proveedores, entre otros actores involucrados.
Mediante el presente trabajo se buscó realizar un análisis sobre el cambio del uso de combustible diésel a combustibles basados en gas, abarcando una descripción de la situación actual, una introducción a las alternativas del diésel (haciendo énfasis en las basadas en gas), costos, legislación vigente al respecto, impacto en el medioambiente, normas internacionales sobre emisiones y una evaluación de una situación hipotética de consumo.
Se concluye que, a través de los distintos conceptos analizados, se ha permitido visualizar los beneficios de modificar la propulsión de los vehículos de carga, tanto desde el punto de vista económico como ambiental.

4. REFERENCIAS

Argentina.gob.ar (06/02/1995). Ley de tránsito Nº24.495. HONORABLE CONGRESO DE LA NACION ARGENTINA. Recuperado de https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/818/actualizacion#:~:text=Consejo%20Federal%20de%20Seguridad%20Vial%20Registro%20Nacional%20de%20Antecedentes%20del%20Tr%C3%A1nsito.

Argentina.gob.ar (04/08/2003). Resolución 131/2003. Secretaria de Energía. Recuperado de https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-131-2003-87300/texto

Barreña M., Catalano R., Paoloni G., Sierra J. (2023). Uso de Biogás GNCel transporte de larga distancia de la producción de la PyME agropecuaria argentina. Potencial de producción y un análisis de rentabilidad. Perspectivas: Revista Científica de la Universidad de Belgrano,

V 6, Nº1. Recuperado de https://revistas.ub.edu.ar/index.php/Perspectivas/article/view/227/219

Bolsa de Comercio de Rosario (15/07/2016). 37% de las cargas nacionales por camión son granos. Recuperado de https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/37-de-las

Bolsa de Comercio de Rosario (20/04/2018). Radiografía del Transporte de cargas en Argentina. Recuperado de https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/radiografia

Bolsa de Comercio de Rosario (22/12/2023). Transporte de carga 2023 / 24 dejaría atrás la sequía. Recuperado de https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/el-17#:~:text=La%20pr%C3%B3xima%20campa%C3%B1a%20espera%201,log%C3%ADstica%20en%20el%20Gran%20Rosario.

Braun C., Miller J. (2020). ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO DE LAS NORMAS EURO VI SOBRE EMISIONES EN VEHÍCULOS PESADOS EN ARGENTINA. Recuperado de https://theicct.org/sites/default/files/publications/ArgentinaCBA-vehiculos-pesados-ES.pdf

ENERGAS. Gas Natural Vehicular. Sujetos del sistema de GNC. Recuperado de https://www.enargas.gob.ar/secciones/gas-natural-comprimido/sujetos-gnc-habilitados.php

Gasnam, Sedigas (s.f.). Tabla de equivalencias. Recuperado de https://gasnam.es/wp-content/uploads/2016/02/Tabla_equivalencias_GASNAM_SEDIGAS.pdf

Gesruta (17/5/2022). Cuánto consume un camión y cómo mejorar su rendimiento. Recuperado de https://programadetransporte.es/; https://programadetransporte.es/cuanto-consume-un-camion/

Gil S., Iannelli L., Prieto R. (2018). Los vehículos híbridos a gas (GNC). Petrotecnia. Recuperado de https://www.petrotecnia.com.ar/junio18/Petro/GNC.pdf

Gonzales Yllanes C.V. (2018). Implementación del sistema de gas natural en la flota de camiones de las plantas de lima de la empresa Unicon. Universidad San Ignacio De Loyola. Facultad De Ciencias Empresariales.

La Nación (2023). A gas, híbridos y eléctricos: los camiones se suben a la ola verde. Recuperado de https://www.lanacion.com.ar/autos/a-gas-hibridos-y-electricos-los-camiones-se-suben-a-la-ola-verde-nid03012023/

La Nación (2019). Gas versus diésel. Recuperado de https://www.lanacion.com.ar/autos/al-volante/gas-versus-diesel-nid2317347/

Ministerio de Transporte (2019). Presidencia de la Nación Nuevos vehículos, más carga. Escalabilidad y bitrenes. Recuperado de https://www.catamp.org.ar/wp-content/uploads/2019/04/dnptcyl_nuevos_vehiculos_modificaciones_normativas_dic2018.pdf

Planeta camión. (2023). NORMAS EURO 6: TODO LO QUÉ DEBEMOS SABER. Planeta camión. Recuperado de https://www.planetacamion.com.ar/normas-euro-6-todo-lo-que-debemos-saber/

Puliafito, Salvador Enrique | Castesana, Paula (2010). Emisiones de carbono del sector transporte en Argentina. Recuperado de https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/100136

Redacción surtidores (2023). Se extiende la red de Estaciones de Servicio de GLPA por todo el país. Recuperado de https://surtidores.com.ar/se-extiende-la-red-de-estaciones-de-servicio-de-glpa-por-todo-el-pais/

Rodríguez, J., Ruiz-Ochoa M., Meneses, A. Revisión de los factores de emisión en las metodologías de huella de carbono en Colombia. Recuperado de https://www.revistaespacios.com/a20v41n47/a20v41n47p06.pdf

RPP (2017). GNV: Impacto en la contaminación atmosférica frente a otros combustibles. Recuperado de https://rpp.pe/vital/vivir-bien/gnv-impacto-en-la-contaminacion-atmosferica-frente-a-otros-combustibles-noticia-1086316

Volvo Trucks (23/05/2024). Volvo lanzará camiones propulsados por hidrógeno. Recuperado de https://www.volvotrucks.es/es-es/news/press-releases/2024/may/Volvo-to-launch-hydrogen-powered-trucks.html#:~:text=Los%20camiones%20que%20funcionan%20con%20hidr%C3%B3geno%20verde%20en%20lugar%20de,recargar%20las%20bater%C3%ADas%20son%20limitados.

ANÁLISIS DE MATERIALIDAD EMPLEANDO ESTÁNDARES GRI Y CONSTRUCCIÓN DE INDICADORES DE DESEMPEÑO AMBIENTAL PARA UNA PLANTA DE RAEE

Stivanello Milagros, Valcalda María del Pilar, Rodríguez Eduardo, Deco Claudia, Bender Cristina, Burzacca Luciana, Costa Santiago

Facultad de Química e Ingeniería del Rosario. Pontificia Universidad Católica Argentina
Av. Pellegrini 3314, (2000) Rosario, Santa Fe, Argentina.
{ejrodriguez, lucianaburzacca, cdeco, cbender}@uca.edu.ar

RESUMEN

Los residuos que presentan la mayor tasa de crecimiento a nivel mundial son los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), impulsados por factores como incremento en el consumo y mayor velocidad de recambio. Ello impulsa el diseño de estrategias y herramientas de gestión para abordar esta problemática. En este trabajo se desarrolló el análisis de materialidad para una Planta de Gestión. La metodología seleccionada fue GRI debido al tipo de organización, posibilidad de adaptarla y su gran reconocimiento y aplicabilidad. Para la determinación del análisis de materialidad los pasos fueron: entender el contexto de la organización, identificar impactos reales y potenciales, evaluar la importancia de impactos y priorizarlos. Luego se construyeron indicadores para realizar seguimiento de variables ambientales de interés que permiten ver cómo la organización gestiona los impactos de sus actividades. Se calcularon los siguientes indicadores: emisiones CO2 que la actividad de reciclaje podría ahorrar por evitar la incineración a cielo abierto y emisiones por obtener materias primas mediante minería urbana en reemplazo de minería tradicional. El análisis del ahorro de emisiones producto del reciclaje de materiales arrojó como resultado una estimación de 42.19 TnCO2/año ahorradas por la Planta de Gestión en el año 2022. Estos reportes y los indicadores construidos, constituyen un gran aporte para que las organizaciones amplíen fronteras y muestren su gestión estratégicamente.

Palabras Clave: Análisis de materialidad; Estándares GRI; Indicadores de desempeño ambiental; Planta de RAEE

ABSTRACT

The waste with the highest growth rate worldwide is waste from electrical and electronic equipment (WEEE), driven by factors such as increased consumption and faster replacement rates. This drives the design of management strategies and tools to address this problem. In this work, the materiality analysis was developed for a Management Plant. The selected methodology was GRI due to the type of organization, the possibility of adapting it and its great recognition and applicability. To determine the materiality analysis, the steps were: understand the context of the organization, identify real and potential impacts, evaluate the importance of impacts and prioritize them. Then, indicators were built to monitor environmental variables of interest that allow us to see how the organization manages the impacts of its activities. The following indicators were calculated: CO2 emissions that recycling activity could save by avoiding open-air incineration and emissions from obtaining raw materials through urban mining instead of traditional mining. The analysis of the emission savings resulting from the recycling of materials resulted in an estimate of 42.19 TnCO2/year saved by the Management Plant in 2022. These reports and the indicators constructed constitute a great contribution for organizations to expand their borders and strategically showcase their management.

Keywords: Materiality analysis; GRI standards; Environmental performance indicators; WEEE plant

1. INTRODUCCIÓN

Los residuos que presentan la mayor tasa de crecimiento a nivel mundial son los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). Factores como el incremento en el consumo y una mayor velocidad de recambio impulsan el diseño de estrategias, herramientas de gestión para poder generar acuerdos y consensos que permitan abordar esta problemática. A su vez, es importante considerar la composición de los RAEE y analizar cuáles serían las implicancias de no realizar una gestión adecuada de estos residuos, perdiendo la oportunidad de recuperar valor a partir de sus componentes. En este trabajo se desarrollaron dos grandes actividades de investigación: el Análisis de Materialidad utilizado como insumo principal del Reporte de Sostenibilidad y la construcción de indicadores ambientales de la Planta de Gestión de RAEE de la Asociación Civil Nodo TAU de la ciudad de Rosario [1].

La globalización y el incremento en el interés por la Responsabilidad Social y el mayor cuidado al ambiente obligan a las organizaciones no sólo a reportar estados financieros para demostrar su buena gestión, sino que las partes interesadas o grupos de interés (como accionistas, sociedad civil, proveedores, clientes) exigen que se demuestre que se contribuye al Desarrollo Sostenible el cual se basa en tres ejes fundamentales: ambiental, social y económico. Así, surgen guías y herramientas metodológicas para la elaboración de memorias de sostenibilidad como GRI (Global Reporting Initiative) que puede ser aplicada a cualquier tipo de organización. Es a partir de esta exigencia que las organizaciones realizan Reportes de Sostenibilidad con lo cual amplían fronteras y adquieren mayor credibilidad al mostrar su gestión de forma transparente y clara y como parte de un planeamiento estratégico de su gestión.

De acuerdo con lo publicado en el informe “Observatorio Mundial de Residuos Electrónicos” [2] en 2019 la generación mundial de RAEE alcanzó la cifra de 56 millones de toneladas, con una generación per cápita anual de 7,3 kg. Se calcula que, para 2030, la generación de RAEE va a haber aumentado 56%, llegando a los 74 millones de toneladas, en tanto que la de residuos sólidos urbanos crecería 30% en el mismo período. En Argentina se estima que la tasa de generación es de 465000 Tn/año, lo que da una tasa per cápita de 10,3 Kg/año. Esta cifra representa un incremento del 25% respecto de lo generado en el 2018 [3] (MAyDS, 2020).

Factores como el incremento en el consumo y una mayor velocidad de recambio de los aparatos eléctricos y electrónicos por parte de los usuarios llevan a tener que diseñar estrategias, herramientas de gestión, espacios de intercambio entre los diversos actores de la cadena de valor de los RAEE para poder generar acuerdos y consensos que permitan abordar esta problemática. A su vez es importante considerar la composición de los RAEE y analizar cuáles serían las implicancias de no realizar una gestión adecuada de estos residuos, perdiendo la oportunidad de recuperar valor a partir de sus componentes.

En este trabajo se sientan las bases para la realización del primer Reporte de Sostenibilidad de Nodo Tau. El análisis preliminar consiste en realizar un análisis de materialidad que muestra cuáles son los impactos significativos de la organización y a partir de esto se construyen indicadores ambientales que permiten dar cuenta de cómo la organización gestiona los impactos de sus actividades. Para esto se compararon y seleccionaron herramientas metodológicas para realizar el Reporte de Sostenibilidad, se describió el contexto externo e interno de la organización, se evalúan e identifican impactos ambientales de la organización que permitan establecer los temas materiales a comunicar y se generaron indicadores ambientales que den cuenta del desempeño de la organización y permitan realizar un seguimiento de la evolución de las variables analizadas.

2. ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE METODOLOGÍAS

La presentación de Reportes de Sustentabilidad ha marcado una diferencia significativa en la forma en que las organizaciones abordan sus impactos económicos, ambientales y sociales, pero para poder aprovechar el poder transformador de la transparencia es necesario que los reportes sean precisos, concisos, comparables, actuales y oportunos. Para el desarrollo de este trabajo se analizaron diversas metodologías utilizadas para la comunicación del desempeño de las organizaciones: normas ISO 26000, normas de la SASB, sistema B y Global Reporting Iniciative. De este análisis, se determinó utilizar el GRI, que se describe a continuación.

Global Reporting Initiative (GRI) [4] es una organización internacional no gubernamental, que tiene como objetivo impulsar los Reportes de Sostenibilidad como herramienta para asumir la responsabilidad de sus impactos. La elaboración de informes de sostenibilidad es una práctica que consiste en la elaboración de informes públicos sobre los impactos económicos, ambientales y sociales

de las organizaciones y, por ende, sus contribuciones, sean positivas o negativas, a los objetivos de desarrollo sostenible. De esta manera, se da cuenta frente a los grupos de interés tanto internos como externos, del desempeño ambiental, social y económico de la organización lo que permite formar opiniones y tomar decisiones informadas sobre la contribución de una organización al cumplimiento del desarrollo sostenible.

Los estándares se diseñaron para brindar estructura común a las organizaciones de modo que puedan comunicar la información garantizando la comparabilidad global y la calidad de la información y posibilitar una mayor transparencia y rendición de cuentas. Los estándares entienden a la sostenibilidad como el modo en que una organización contribuye, o intenta contribuir en el futuro, a la mejora o el empeoramiento de las condiciones, los avances y las tendencias económicas, ambientales y sociales en los ámbitos local, regional e internacional. A su vez, debe ser parte de todas las tomas de decisiones y el accionar dentro de una institución. Para el Global Reporting Initiative, el procedimiento para definir el contenido de un Reporte de Sustentabilidad debe partir de la delimitación de los temas considerados importantes para una gestión sustentable, según el impacto que tenga la empresa sobre la triple línea de resultados (ambiental, social y económica), y la influencia del tema en el desempeño y en las decisiones de los grupos de interés. Los Estándares GRI se estructuran como un sistema de estándares interrelacionados organizados en tres series: Estándares Universales GRI, Estándares Sectoriales GRI y Estándares Temáticos GRI.

Se toma como prioridad en el proceso del reporte que la organización Nodo Tau identifique y priorice impactos en su economía, sus aspectos ambientales y los sociales dando como resultado claridad y transparencia sobre todos sus impactos identificados. Muchas organizaciones que han reportado con GRI sus informes de sostenibilidad han afirmado que se generaron muchos beneficios a raíz de su publicación y a lo largo del proceso del informe también, dado que se involucran a muchas partes externas y grupos de interés en esta instancia.

Entre los beneficios reportados de GRI se encuentran: Rendir cuentas a grupos de interés; Responder a demandas de información de legislación, comunidad, clientes e inversionistas; Mejor toma de decisiones en el interior de la organización y por parte de los grupos de interés; Mayor transparencia y claridad y aumento de la confianza dado que son desarrollados no solo internamente por la organización, sino que existe la instancia de consulta a grupos de interés; Identificar debilidades y fortalezas en todos los procesos de las organizaciones incluyendo el trabajo de cada área y la relación con los grupos de interés; Mejorar sistemas de gestión y establecer mejoras en todos los procesos para los futuros reportes; Reducir impactos negativos de la organización; Atraer nuevos clientes y por ende capital; Atraer y retener a los trabajadores; Establecer un lenguaje global en los informes de sostenibilidad.

2.1. Integración de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en el desarrollo de los Reportes de Sostenibilidad aplicando la metodología GRI

Los objetivos de Desarrollo Sostenible, desarrollados en 2015 por miembros de la ONU, traen consigo una concepción mucho más profunda que hacer frente al cambio climático y es poner fin a la pobreza llevando adelante políticas públicas con una perspectiva diferente que es la justicia social dando lugar a la visibilización de la lucha de las minorías.

Los marcos de información de Reportes ya vienen reconociendo el impacto de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en el análisis complejo de una organización y en consecuencia se comienza a incorporar a las metodologías existentes una correlación directa con la agenda 2030.

Así pues, tres importantes organismos que propician los informes de sostenibilidad: GRI, Pacto Mundial y el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible desarrollaron en septiembre del 2015, el SDG Compass con el fin de guiar a las organizaciones en la alineación de sus estrategias con los ODS y en la medición y gestión de su contribución a los mismos. El SDG Compass se retroalimenta de la información recibida a través de tres períodos de consulta a empresas, agencias gubernamentales, instituciones académicas y organizaciones de la sociedad civil en todo el mundo. Se nutre de un documento para vincular los ODS con los indicadores y divulgaciones de GRI.

Así, en el proceso de análisis de las diversas metodologías disponibles se incluyó un relevamiento de algunos ejemplos de Reportes de Sostenibilidad elaborados por organizaciones de diferente naturaleza. Todos los reportes comienzan con una carta del presidente/CEO. Se deja expresado el enfoque que adopta la organización respecto del desarrollo sustentable y, según corresponda, se establece el aporte de la estrategia de sustentabilidad a la Agenda 2030. Esto permite priorizar aquellos

aspectos que mayor contribución significan y a partir de allí delinear compromisos y líneas de acción asociados con el cumplimiento de los ODS en el marco de la comunicación del desempeño de la organización.

En los reportes analizados se dedica una sección a la caracterización de la organización donde se incluye información respecto del sistema de gobierno (gobierno corporativo, ética y transparencia), indicadores económicos y financieros, indicadores por composición por género, edad y antigüedad de los trabajadores. Otra opción es presentar los indicadores económicos, financieros y laborales en la etapa de descripción de procesos, productos o servicios. En esta instancia, se incorpora el análisis de riesgos considerando cómo se gestionan y las auditorías internas que se realizan. Podemos remarcar que en uno de los reportes analizados se abarcaron cuestiones de género dando cuenta del proceso que estaba llevando a cabo la organización para la realización de un protocolo contra la violencia de género. En aquellas organizaciones que se desarrolle algún proceso productivo se incluye una descripción de la cadena de valor identificando los riesgos e impactos que representan. En el caso de prestación de servicios se debe describir el mismo, como se hace y con qué fin.

Respecto de la cuestión de cómo se aborda la sustentabilidad en las organizaciones informantes se pudo observar diversos enfoques. En uno, se procede a explicar la estructura organizacional con la que se aborda la temática mencionando el equipo interno encargado de gestión sustentable, entidades con las que se vinculan, cuál es la estrategia y la contribución a los ODS. Cada eje estratégico constituye las líneas de trabajo, incorporando acciones y actividades correspondientes. Si se plantea un plan estratégico de sustentabilidad se indican los objetivos generales, específicos a corto y mediano plazo. Por último, se explica cómo se implementa esta estrategia mediante canales de atención, canales de comunicación, información respecto de cursos brindados a los trabajadores, a la comunidad (en el contexto de fortalecimiento del vínculo de la organización con la comunidad), acciones en el marco de la articulación público-privada, trabajo con otras instituciones. Otro abordaje es integrar el enfoque de desarrollo sostenible al perfil de la organización informando sobre cómo se contribuye con los ODS y realizar un análisis de cómo los objetivos del negocio se alinean con los ODS. A partir de este punto se obtiene como resultado líneas de acción y los ODS prioritarios.

En líneas generales, independientemente de cómo se estructure la información en la redacción del informe, la idea principal es poder desarrollar una política o estrategia de sustentabilidad que se base en el desarrollo de la actividad de la organización. De este modo, se asumirán determinados compromisos o establecerán ejes estratégicos que tiendan a materializar la responsabilidad asumida de la organización de contribuir al desarrollo sustentable. Para dar cuenta de esta responsabilidad se establece una conexión entre las acciones y actividades con los ODS y con los indicadores propuestos por la metodología.

Al principio del reporte o al final se introduce y desarrolla el concepto de materialidad, indicando el alcance y cobertura del análisis. A su vez, se mencionan cuáles son los criterios de selección de los contenidos, es decir de los indicadores a reportar. La selección de los temas materiales se realiza en un diálogo con las partes interesadas y en cuatro etapas: identificación, priorización, valorización y revisión.

Luego del análisis de las diversas metodologías para la evaluación del desempeño de las organizaciones y la exteriorización de sus impactos y cómo se abordan, la metodología seleccionada para el informe de la Asociación Civil Nodo TAU es la correspondiente a los Estándares GRI. El tipo de organizaciones a las cuales está dirigida, la posibilidad de adaptarla a la estructura y funcionamiento de la organización, el gran reconocimiento y aplicabilidad que posee GRI a nivel global justifican esta elección.

3. APLICACIÓN DE ESTÁNDARES GRI PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS TEMAS MATERIALES

La determinación de los temas materiales es el primer paso en la elaboración de un reporte de sostenibilidad. La materialidad es un concepto clave no sólo de cara a la realización del reporte sino también para abordar la gestión de la sostenibilidad en la organización. Este concepto permite identificar y priorizar aquellos impactos en los cuales se debe centrar la organización para comunicar su desempeño a sus partes interesadas. El impacto se define como el “efecto que la organización tiene o podría tener sobre la economía, el medio ambiente o las personas, incluidos los efectos sobre los derechos humanos y que, a su vez, puede ser indicativo de su contribución negativa o positiva al desarrollo sostenible” [4].

La determinación de los temas materiales no resulta una cuestión estática, sino que, por el contrario, en cada una de las sucesivas instancias de publicación de informes de sostenibilidad se debe revisar la vigencia de los temas materiales. Esto en pos de dar cuenta de los cambios que se hayan producido en la organización ya sea por cambio en las actividades o en las relaciones comerciales y que se reflejan en sus impactos.

A continuación, se describe el procedimiento aplicado para la determinación de los temas materiales de la organización. La secuencia de pasos aquí descrita se corresponde con el Estándar GRI 3: Temas Materiales 2021. Este estándar representa una guía para la identificación de los temas materiales de la organización. El proceso de determinación de los temas materiales (Figura 1) está conformado por las siguientes fases: 1) entender el contexto de la organización; 2) identificar impactos reales y potenciales; 3) evaluar la importancia de los impactos; y 4) priorizar los impactos más significativos sobre los que presentar información.

Los tres primeros se refieren a la identificación y evaluación de los impactos asociados a las actividades cotidianas de la organización. En esta etapa se debe incorporar la participación de los grupos de interés. Sin embargo, este proceso de determinación de temas materiales se realizó en carácter de autoevaluación, considerándolo como un análisis interno de la organización. Se sugiere que en las sucesivas instancias de elaboración de los reportes de sostenibilidad de Nodo TAU se incorpore de manera activa la perspectiva de las partes interesadas. De esta manera se ampliará la comprensión de la significancia que representan las actividades de Nodo TAU en el entorno y en la comunidad. Si bien el análisis de la organización se plantea desde una perspectiva integral, es decir desde la mirada social, ambiental y económica, se realizará la construcción de indicadores ambientales que den cuenta de los respectivos temas materiales.

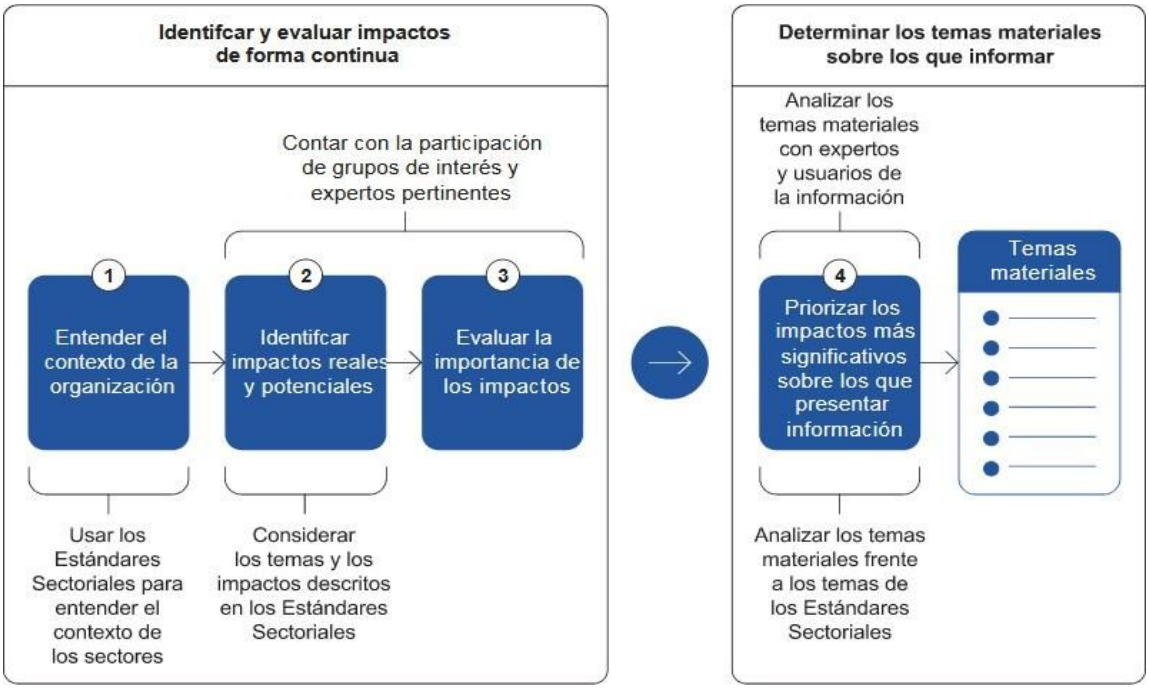


Figura 1: proceso para la identificación de temas materiales. Fuente: GRI 2021.

Comprender el contexto de la organización:

Comprender el contexto de Nodo Tau implica realizar una descripción del entorno en el cual se desempeña la organización, la identificación de aquellos actores de la sociedad y la comunidad con los que interactúan y cómo estas interacciones modifican y determinan el contexto en el cual los procesos y actividades de la organización se llevan a cabo. La descripción de la organización y del entorno se realizó mediante fuentes primarias de información. Éstas se corresponden con entrevistas a los socios, los tutores y trabajadores, cuestionarios para recopilar información, visitas a la planta e información recopilada de documentos en los que Nodo Tau participó.

A continuación, se expone la información disponible recopilada en base a los contenidos del Estándar

GRI 2 Información General, Estándares Temáticos GRI 200: Estándar Económico, GRI 300: Estándar Ambiental y GRI 400: Estándar Social. El presente trabajo pretende ser una primera instancia de recopilación y generación de información que permita generar la base para la elaboración del primer reporte de sostenibilidad de Nodo TAU. El alcance de este abarca la descripción de las actividades, servicios prestados y caracterización del desempeño ambiental, social y económico de la Asociación Civil de la que forma parte la Planta de Gestión de RAEE. La información presentada se corresponde con el ejercicio 2022. En el período de análisis de este informe cabe destacar que la Asociación Civil Nodo TAU estuvo atravesando un proceso de reestructuración que permita establecer a la Planta de Gestión de RAEE en la forma jurídica de Cooperativa.

La Planta de Gestión de RAEE realiza tareas de reacondicionamiento de equipos informáticos y reciclaje de materiales. Nodo TAU es una organización que lleva adelante una actividad nueva, como lo es la gestión de residuos informáticos. La lógica de funcionamiento de la planta se inserta en el paradigma de la economía circular, en contraposición al sentido predominante de la economía lineal basado en la extracción de materias primas, el procesamiento y consumo y finalmente el descarte. Por las características particulares de los RAEE, para algunos clientes y la población en general resulta contraintuitivo comprender que la gestión de los residuos tiene un costo. De esta manera resulta vital el aprovechamiento de canales de comunicación tales como redes sociales, la página web o el reporte de sostenibilidad para jerarquizar y poner en valor el trabajo realizado por los gestores de residuos y generar en la sociedad toda una visión del aporte a la sociedad que realizan.

Identificar impactos reales y potenciales

Luego de describir el contexto interno y externo en el cual opera la organización se procedió a identificar y describir los impactos reales y potenciales sobre la economía, el ambiente y las personas, incluidos los impactos sobre los derechos humanos.

GRI define los impactos reales como “aquellos que ya se han producido” y los impactos potenciales como “aquellos que podrían producirse, pero aún no lo han hecho”. La caracterización de los impactos se da en términos de su naturaleza (impacto positivo o negativo), plazo (impacto a corto o largo plazo), intencionalidad (impacto intencional o no intencional) y reversibilidad (impacto reversible o irreversible).

El proceso de identificación de impactos se realizó a partir del análisis del proceso productivo y de prestación de servicios de Nodo TAU, de los aportes surgidos en el proceso de identificación de impactos ambientales y de entrevistas con diversos integrantes del Nodo. Particularmente, los aspectos e impactos ambientales se identificaron empleando como metodología una Matriz de Identificación de Aspectos e Impactos. Estos impactos se identificaron mediante el análisis de los procesos llevados a cabo en la Planta de dicho Nodo, en este caso el proceso de reacondicionamiento de los equipos. El proceso consta de sucesivas actividades que son las que permiten obtener el producto final o brindar el servicio.

Cada actividad de un proceso está asociada a un aspecto ambiental, aunque puede suceder que una actividad represente dos o más aspectos ambientales. Los aspectos ambientales son todos aquellos elementos de las actividades, productos o servicios de una organización que pueden interactuar con el medio ambiente. En este caso particular se establecieron los siguientes aspectos ambientales asociados al proceso de reacondicionamiento: emisión a la atmósfera, uso de recursos naturales, y generación de residuos.

En la Figura 2 se puede observar cuales son los aspectos ambientales de las diversas actividades del proceso y su detalle.

En la etapa de identificación de impactos se debe caracterizar el aspecto según la situación operacional en la que se produce y su temporalidad. Respecto de la situación operacional se tiene que los aspectos se pueden dar en una situación de operación normal (N), es decir, una serie de actividades de tipo rutinario; una operación anormal (A) incluye aquellas actividades que generan una salida inesperada de la operación normal de la planta sin que se presenten daños graves; por último, la operación de emergencia (E) implica una actividad que una vez que acontece se debe desplegar alguna alarma o plan de emergencia. Por su parte, la temporalidad actual (A) hace referencia a aquellas actividades que se desarrollan hoy en día con normalidad. La temporalidad futura (F) implica aquellas actividades que no desarrollándose actualmente ni siendo previstas de ser llevadas a cabo en un futuro podrían llegar a ocurrir.

De manera preliminar, se listan y describen los impactos identificados en materia ambiental, social,

económica y de derechos humanos. Los impactos reales identificados de naturaleza positiva o negativa son: Emisión de gases de efecto invernadero, Generación de residuos peligrosos: Generación de empleo juvenil, Evitación de disposición inadecuada de residuos electrónicos, Disminución de la brecha digital en comunidades vulnerables: Impacto económico indirecto en la comunidad y Consumo de recursos. En tanto que lo impactos potenciales, positivos y negativos, son: Riesgo normativo, Incremento del alcance de las operaciones de Nodo TAU y de la generación de empleo, Contaminación del aire por incendio.

Identificación y Evaluación de Aspectos e Impactos Ambientales									
N	Área	Proceso	Actividad	Aspecto Ambiental	Detalle del aspecto	Situación Operacional	Temporalidad	Impacto Ambiental	Detalle del impacto
1	Planta de gestión de RAEEs	Reacondicionamiento	Almacenamiento de equipos informáticos	Emisión a la atmósfera	Emisiones como consecuencia de un incendio	E	F	Alteración de la calidad del aire	Contaminación del aire como producto del incendio
2	Planta de gestión de RAEEs	Reacondicionamiento	Testeo de componentes (hardware y software)	Uso de recursos materiales	Consumo de energía eléctrica	N	A	Reducción de la disponibilidad de recursos naturales y/o energía	Uso de energía eléctrica para el funcionamiento de los equipos que se testean
3	Planta de gestión de RAEEs	Reacondicionamiento	Desarme	Generación de residuos	Generación de residuos peligrosos y no peligrosos	N	A	Alteración de la calidad del suelo	Contaminación del suelo como producto de la incorrecta disposición de residuos
4	Planta de gestión de RAEEs	Reacondicionamiento	Limpieza	Uso de recursos materiales	Consumo de productos químicos	N	A	Reducción de la disponibilidad de recursos naturales y/o energía	Consumo de detergentes para la limpieza de las partes de equipos
5	Planta de gestión de RAEEs	Reacondicionamiento	Recambio de componentes	Generación de residuos	Generación de residuos peligrosos y no peligrosos	N	A	Alteración de la calidad del suelo	Contaminación del suelo como producto de la incorrecta disposición de residuos
6	Planta de gestión de RAEEs	Reacondicionamiento	Análisis y revisión en laboratorio	Generación de residuos	Generación de residuos peligrosos y no peligrosos	N	A	Alteración de la calidad del suelo	Contaminación del suelo como producto de la incorrecta disposición de residuos
7	Corredores viales	Donación	Traslado y entrega de dispositivos informáticos reacondicionados	Emisión a la atmósfera	Liberación de gases	N	A	Alteración de la calidad del aire	Contaminación de la atmósfera producto de las emisiones de la combustión de los motores
8	Corredores viales	Donación	Instalación y mantenimiento de los equipos informáticos reacondicionados	Uso de recursos materiales	Consumo de energía eléctrica	N	A	Reducción de la disponibilidad de recursos naturales y/o energía	Consumo de energía eléctrica por uso de los equipos informáticos reacondicionados
9	Corredores viales	Donación	Traslado y entrega de los equipos informáticos reacondicionados y materiales	Emisión a la atmósfera	Liberación de gases	N	A	Alteración de la calidad del aire	Contaminación de la atmósfera producto de las emisiones de la combustión de los motores

Figura 2: Matriz de Identificación y Evaluación de Aspectos e Impactos. Fuente: elaboración propia

Evaluar la importancia de los impactos

Luego de identificar los impactos reales y potenciales se realizó una evaluación de la importancia de los impactos para priorizarlos. Frente a la limitación de recursos, disponibilidad y tiempo para abarcar todos los impactos la organización debe jerarquizarlos y establecer un orden de prioridad para su abordaje. La priorización permite determinar los temas materiales sobre los cuales presentar información. Una vez definidos los temas materiales se podrán crear indicadores que permitan dar cuenta de cómo la organización gestiona los impactos de sus actividades.

La evaluación de estos impactos conlleva un análisis cuantitativo y cualitativo lo que implica una decisión subjetiva al momento de ponderar estos impactos. GRI establece que el proceso de identificación y evaluación de los impactos debiera contar con la participación y consulta de los grupos de interés. Sin embargo, en esta etapa preliminar del reporte de sostenibilidad se prescindió de su aporte. De esta manera, se arribó a una identificación y valorización parcial de los impactos. Se recomienda que en los sucesivos ejercicios de elaboración del reporte se incorporen las contribuciones de las partes interesadas.

La metodología empleada consistió en la elaboración de una Matriz de Identificación y Evaluación de Aspectos e Impactos. La matriz permite evaluar la significancia de los impactos ambientales

considerados, los cuales están en función de su probabilidad de ocurrencia, su severidad una vez ocurridos, la existencia de requisitos legales asociados y la existencia de reclamos por parte de los grupos de interés. Cabe destacar que los impactos que permite evaluar esta metodología son impactos negativos; por lo tanto, no se incluyeron impactos positivos en el análisis.

La importancia de un impacto, es decir, su significancia, depende de la probabilidad de que el impacto ocurra y de su severidad. La severidad o gravedad de un impacto negativo real o potencial según GRI está determinada por las siguientes características: Escala (nivel de gravedad del impacto); Alcance (extensión del impacto, por ejemplo, el número de individuos afectados o la magnitud de los daños medioambientales) y Carácter irremediable (el grado de dificultad que supone contrarrestar o corregir el daño resultante).

Por otro lado, la probabilidad de un impacto negativo potencial se refiere a la posibilidad de que el impacto se produzca. La probabilidad de un impacto puede medirse o determinarse cualitativa o cuantitativamente. Se puede describir en términos generales (por ejemplo, muy probable, probable) o matemáticamente con probabilidades (por ejemplo, 10 de 100, 10 %) o frecuencia en un determinado periodo de tiempo (por ejemplo, una vez cada tres años).

La Figura 3 muestra la Matriz de doble entrada de Probabilidad-Severidad que brinda valores de significancia para los impactos de los procesos de la organización. Al considerar la probabilidad y la severidad asignada a cada impacto se puede arribar al grado de significancia correspondiente.

Nodo TAU Matriz de Evaluación de Aspectos e Impactos		SEVERIDAD/AMPLITUD				
		1 Reducida Daño menor o fácilmente reversible. Duraría hasta un día, limitado a un área pequeña (m²).	2 Baja Daño razonable o reversible con alguna inversión. Duraría unos días, área reducida (cientos de m²)	3 Media Daño considerable o reversible en el mediano plazo. Duraría semanas, gran impacto de área (km²)	4 Alta Daño severo e irreversible a mediano plazo sin alta inversión. Duraría meses, impactaría en cada receptor o entorno sensible.	5 Mayor Daño drástico o irreversible. Duraría por años / permanente, afectaría a toda la cuenca o región.
FRECUENCIA/PROBABILIDAD						
5 Casi seguro	En algún momento sucederá, el evento ya puede haber sucedido o en las tareas de rutina siempre sucede.	11	16	20	23	25
4 Probable	Hay una alta probabilidad de que ocurra el evento. Ocasionalmente sucede para eventos de rutina.	7	12	17	21	24
3 Posible	El evento puede suceder o ya ha sucedido para tareas de rutina.	4	8	13	18	22
2 Improbable	Es poco probable que ocurra el evento. En tareas rutinarias puede haber sido hace mucho tiempo, pero es poco probable que ocurra más.	2	5	9	14	19
1 Rara	No hay registros de la ocurrencia, la ocurrencia es altamente improbable.	1	3	6	10	15

Figura 3: Matriz de Probabilidad-Severidad. Fuente: elaboración propia.

El criterio de corte establecido para determinar si un impacto es significativo es si su grado es mayor o igual a 13 y/o si posee requisitos legales. De lo contrario el impacto se considera no significativo.

En la Figura 4 se puede observar que aquellos impactos cuyo grado es igual o mayor a 13 recaen dentro del carácter de impacto significativo. Estos impactos son: alteración de la calidad del aire como producto de un incendio, alteración de la calidad del suelo como producto de la incorrecta disposición de residuos peligrosos, y alteración de la calidad del aire como producto de las actividades de transporte.

Priorizar los impactos más significativos sobre los que presentar información

De los impactos significativos identificados en el paso anterior se procedió a establecer su relevancia para poder determinar su nivel de prioridad: alta, media o baja y, de esta manera, indicar cuáles serán los temas materiales que comunicar.

Si al impacto le aplica algún requisito legal el valor que adopta este criterio en la matriz es de 1; si no

le aplican requisitos legales el valor adoptado es de 0. Si existe algún reclamo de una parte interesada este criterio adopta un valor de 1; si no existen reclamos, 0. Con todo esto, se tiene que la prioridad es:

- alta: si el impacto es significativo, y el GR se encuentra entre 21 y 25 y/o existe requisito legal y/o existen partes interesadas.
- media: si el impacto es significativo, y el GR se encuentra entre 14 y 20
- baja: si el impacto es significativo, y el GR se encuentra entre 1 y 13
- no aplica (NA): si el impacto no es significativo no es prioritario.

Evaluación								Barreras y Controles		Controles a implementar
Frecuencia/ Probabilidad	Severidad/ Amplitud	GR	Significativo	Requisitos Legales	Partes Interesadas	Relevancia	Prioridad	Plan de Emergencia	Situación de Control	
1	5	15	Si	1	0	16	ALTA	Si	Mantenimiento de los matafuegos	Simulacro de evacuación
5	1	5	No	0	0	5	NA	NA	Mantenimiento preventivo de las instalaciones eléctricas	
4	3	17	Si	1	0	18	ALTA	NA	Los residuos peligrosos son gestionados por tratador habilitado	
4	1	7	No	0	0	7	NA	NA	Uso eficiente de productos químicos	
4	3	17	Si	1	0	18	ALTA	NA	Los residuos peligrosos son gestionados por tratador habilitado	
4	3	17	Si	1	0	18	ALTA	NA	Los residuos peligrosos son gestionados por tratador habilitado	
4	3	17	Si	0	0	17	MEDIA	NA		Controles periódicos a transportistas
3	2	8	No	0	0	8	NA	NA	Mantenimiento preventivo de las instalaciones eléctricas	
4	3	17	Si	0	0	17	MEDIA	NA		Controles periódicos a transportistas

Figura 4: Matriz de Identificación de Aspectos e Impactos. Fuente: elaboración propia

De la Figura 4 se obtiene que los impactos de prioridad alta son alteración de la calidad del aire por incendio y alteración de la calidad del suelo por generación de residuos peligrosos. En tanto que los impactos de prioridad media son alteración de la calidad del aire por emisiones producto de las actividades de transporte. Si bien la relevancia de los primeros es menor de 21 se consideran de prioridad alta por la existencia de requisitos legales a cumplir. Por otro lado, el impacto por las emisiones del transporte se considera de prioridad media por no contar con requisitos legales aplicables.

Los impactos ambientales negativos identificados se agruparon dentro de las siguientes categorías de temas materiales: Gestión de residuos y Emisiones de gases de efecto invernadero.

4. CONSTRUCCIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES

El enfoque productivo característico de Nodo TAU representa una oportunidad tanto desde el punto de vista ambiental y social como comercial y económico en materia de acción climática.

Desde el punto de vista ambiental, la acción de Nodo TAU se inscribe dentro del paradigma de la economía circular y las organizaciones de triple impacto y, en este sentido, la revalorización de

materiales y el reacondicionamiento de equipos contribuyen al ciclo técnico de la economía circular. La lógica de introducción de materias secundarias, como lo son la de los aparatos informáticos, al circuito productivo y la comercialización de equipos refabricados o reacondicionados impactan en la disminución de la emisión de gases de efecto invernadero en contraposición a las emisiones que implican la extracción de materia prima virgen de la naturaleza y por ende la fabricación de equipos informáticos.

Desde el punto de vista comercial, la consolidación de un modelo de negocio de estas características donde coloquialmente se emplea materia prima considerada basura para producir un producto, y la repercusión que sus actividades pueden llegar a tener, permitiría aumentar el alcance del mercado cubierto por el Nodo TAU. Finalmente, esto se traduciría en un incremento de los ingresos para la organización.

A partir de los temas materiales identificados en la etapa anterior, gestión de residuos y emisiones de gases de efecto invernadero, se procedió a realizar indicadores que permitan realizar un seguimiento de aquellas variables ambientales de interés para la gestión cotidiana de la planta y la comunicación de las actividades llevadas a cabo y del alcance de estas a los grupos de interés.

Dentro del tema material gestión de residuos se incluyeron los procesos de reacondicionamiento y reciclaje de materiales. Respecto del tema material emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se abordaron los ahorros de emisiones producto de las actividades de recupero de materiales. Resulta interesante pensar en una comparación entre los procesos de reciclaje y los procesos de reacondicionamiento en relación con la contribución a la acción climática en virtud de la reducción de emisiones GEI que cada uno de estos procesos presenta. Se sugiere que en próximas instancias se incorpore al análisis esta perspectiva que permita dar cuenta de la contribución fehaciente de estas actividades a la disminución de emisiones de GEI.

El potencial de la contribución de la Planta de Gestión de RAEE a la acción climática se traduce en dos tipos de ahorros emisiones [5]:

1. Ahorro de emisiones por evitar la incineración de los materiales a cielo abierto;
2. Ahorro de emisiones por obtener materias primas secundarias en reemplazo de minería tradicional.

5. CONCLUSIONES

La globalización y el incremento en el interés por la Responsabilidad Social y el mayor cuidado al ambiente obligan a las organizaciones no sólo a reportar estados financieros para demostrar su buena gestión, sino en demostrar que se contribuye al Desarrollo Sostenible. Los reportes e indicadores propuestos constituyeron un gran aporte para que las organizaciones, tal como la del caso estudiado de la Planta de Gestión de RAEE de la Asociación Civil Nodo TAU, amplíen fronteras y adquieran mayor credibilidad al mostrar estratégicamente su gestión de forma transparente y clara.

En este trabajo se identificaron y analizaron diversas metodologías utilizadas para la comunicación del desempeño de las organizaciones. Para esto se analizaron la norma ISO 26000 Guía sobre Responsabilidad Social, los estándares de la Sustainability Accounting Standard Board (SASB), los requisitos establecidos por el Sistema B y los estándares Global Reporting Iniciative (GRI). De este análisis, se seleccionó para la Asociación Civil Nodo TAU la metodología correspondiente a los Estándares GRI. El tipo de organizaciones a las cuales está dirigida, la posibilidad de adaptarla a la estructura y funcionamiento de la organización, el gran reconocimiento y aplicabilidad que posee GRI a nivel global justifican esta elección. En ese sentido para la determinación de los temas materiales se siguieron los pasos propuestos por el método: entender el contexto de la organización, identificar impactos reales y potenciales, evaluar la importancia de los impactos y por último priorizar los impactos más significativos sobre los que presentar información.

Por otra parte, para el análisis del desempeño ambiental, se procedió a construir indicadores que permitan realizar un seguimiento de aquellas variables ambientales de interés para la gestión cotidiana de la planta que permiten dar cuenta de cómo la organización gestiona los impactos de sus actividades. Se definieron y calcularon los siguientes indicadores: Estimación de emisiones de CO_2 que la actividad de reciclaje de materiales podría ahorrar por evitar la incineración de RAEE a cielo abierto y Estimación del ahorro de emisiones por obtener materias primas mediante minería urbana en reemplazo de minería tradicional. El análisis del ahorro de emisiones producto del reciclaje de materiales arrojó como resultado una estimación de 42.19 $TnCO_2$/año ahorradas por la Planta de Gestión.

6. REFERENCIAS

[1] Asociación Civil Nodo Tau. Disponible en https://tau.org.ar/raee-planta/

[2] Forti V., Baldé C.P., Kuehr R., Bel G. (2020).The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential. United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) – co-hosted SCYCLE Programme, International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Rotterdam. Disponible en https://globalewaste.org/

[3] Gestión Integral de RAEE. Los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, una fuente de trabajo decente para avanzar hacia la economía circular (2020) / coordinación general de Laura Maffei. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación; Oficina de País de la Organización Internacional del Trabajo para Argentina,

[4] Global Reporting Initiative: Standards (2021) Disponible en: www.globalreporting.org/standards/

[5] Gutman, A. (2014). Fundación Torcuato Di Tella. Obtenido de https://ftdt.cc/papers/el- reciclado-de-residuos-de-aparatos-electricos-y-electronicos-raee-como-opcion-de- mitigacion/

"ANÁLISIS DEL IMPACTO DE DISTINTAS TECNOLOGÍAS DE RECUPERACIÓN DE RESIDUOS DE LA PRODUCCIÓN DE CARBONATO DE LITIO"

Valdez, S.K, Quintana M.V., Orce Schwarz, A, Tita, G.

Facultad de Ingeniería, INBEMI- INIQUI-CONICET, Universidad Nacional de Salta, Av. Bolivia 5150, 4400, Argentina
skvaldez@gmail.com; quinanamvirginia@gmail.com; agustina.orce@gmail.com
titagerardo@gmail.com

RESUMEN

Uno de los procesos de purificación de salmueras previo a la obtención de carbonato de litio, puede involucrar la precipitación química. Luego de este proceso se obtiene un residuo que contiene cantidades variables de yeso, hidróxido de magnesio, cal hidratada y sales solubles ($CaSO_4.2H_2O$, $Mg(OH)_2$, $Ca(OH)_2$, NaCl y otras); de acuerdo a la reglamentación vigente este residuo se clasifica como no peligroso. Actualmente, en los salares de la Puna argentina, las empresas productoras de carbonato de litio acopian este pasivo ambiental en el mismo salar Dependiendo de la concentración inicial de Li^+ y Mg^{2+} en la salmuera natural, se pueden generar más de 2 tn de este residuo por tonelada de Li_2CO_3 producido. Teniendo en cuenta que las empresas producen o proponen producir entre 20.000 y 40.000 tn/año de Li_2CO_3, el tratamiento de estos residuos es fundamental. El grupo de trabajo estudió dos tecnologías de tratamiento químico para separar el residuo, facilitado por empresas del medio, en sus componentes mayoritarios. Estos pueden ser aprovechados como materia prima o producto final en otras industrias. Las tecnologías se basan en la técnica de disolución del residuo en medio ácido. Se estudiaron dos variantes, una inyectando CO_2 y la otra H_2SO_4 a una pulpa con concentraciones variables de residuo. Los resultados fueron reportados en trabajos previos. Estas tecnologías demandan el consumo de agua y energía y generan otro tipo de residuos. Por ello, en este trabajo, el objetivo es analizar el impacto de la recuperación de residuos. Este análisis contempla la evaluación del impacto ambiental topográfico mediante la elaboración de matrices de impacto sintéticas y las consideraciones socio económicas de su implementación.

Palabras Claves: Residuos, Impacto, Procesamiento, Litio, Puna,

ABSTRACT

One of the brine purification processes prior to obtaining lithium carbonate may involve chemical precipitation. After this process, a residue is obtained that contains variable amounts of gypsum, magnesium hydroxide, hydrated lime and soluble salts ($CaSO_4.2H_2O$, $Mg(OH)_2$, $Ca(OH)_2$, NaCl and others); According to current regulations, this waste is classified as non-hazardous. Currently, in the salt flats of the Argentine Puna, lithium carbonate producing companies collect this environmental liability in the same salt flat. Depending on the initial concentration of Li^+ and Mg^{2+} in the natural brine, more than 2 tons of this waste can be generated per ton of Li_2CO_3 produced. Taking into account that companies produce or propose to produce between 20,000 and 40,000 tons/year of Li_2CO_3, the treatment of this waste is essential. The working group studied two chemical treatment technologies to separate the waste, provided by environmental companies, into its majority components. These can be used as raw materials or final products in other industries. The technologies are based on the technique of dissolving the waste in an acid medium. Two variants were studied, one injecting CO_2 and the other H_2SO_4 to a pulp with variable residue concentrations. The results were reported in previous works. These technologies demand the consumption of water and energy and generate other types of waste. Therefore, in this work, the objective is to analyze the impact of waste recovery. This analysis contemplates the evaluation of the topographic environmental impact through the preparation of synthetic impact matrices and the socio-economic considerations of their implementation.

Keywords: Waste, Processing, Impact, Lithium, Puna

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de tecnologías para el almacenamiento de energía en baterías de litio provocó en los últimos años, un interés sostenido en la explotación de las salmueras de la Puna. Sin embargo, como indica la Comisión Económica para América Latina y el Cariba (CEPAL) de Naciones Unidas: "Como toda actividad extractiva, la minería de litio también ejerce presión ambiental y social sobre los territorios de extracción, lo que afecta la sostenibilidad de los ecosistemas allí presentes. En el caso del litio de salmuera, esto se origina principalmente en el estrés hídrico y los efectos sobre la biodiversidad y las actividades económicas tradicionales llevadas a cabo por los grupos sociales que habitan en las inmediaciones de los salares" [1]. Por lo que cualquier proyecto que pretenda desarrollarse en la zona debería ser evaluado en función de los factores mencionados.

Como cualquier proceso productivo, la producción de sales de litio genera residuos y efluentes que se acumulan en el mismo salar por no resultar peligrosos para la salud humana y porque contienen básicamente los mismos componentes que existen en el salar. No obstante, la acumulación de residuos sólidos es creciente en el tiempo y puede volverse importante si se llegan a desarrollar todos los proyectos que en la actualidad se encuentran en etapa de pre factibilidad.

La cantidad y calidad de los residuos que se generan dependen de la composición química de la salmuera que se emplea, como así también del proceso de producción. La composición química de la salmuera dentro del llamado Triángulo del litio, varía considerablemente en cada salar. Por ejemplo, la concentración de litio en el salar de Atacama (Chile), es 2,8 veces mayor que la que se encuentra en Cauchari (Argentina). Si se compara la concentración de magnesio entre el salar de Uyuni (Bolivia) y el salar del Hombre Muerto (Argentina) se observa que el primero tiene una concentración 8 veces mayor. La concentración de sulfato es 2 veces mayor en el salar de Atacama que en el salar del Hombre Muerto. Durante el proceso de producción se generar residuos sólidos si se purifica la salmuera mediante métodos de precipitación química, o efluentes líquidos en el caso de emplear métodos de intercambio iónico o membranas.

La CEPAL identifica dentro de los llamados "Desafíos para los países ricos en recursos de litio" avanzar en la cadena de valor y la sostenibilidad", y entre los desafíos que enfrenta la expansión de la minería de litio, con o sin industrialización, identifica también los de carácter ambiental y social. Como toda actividad vinculada a la explotación de recursos naturales y, en particular, aquellas de naturaleza extractiva, la minería de litio conlleva riesgos en ambas dimensiones. Las organizaciones de la sociedad civil, las comunidades locales que habitan en zonas aledañas a los salares y la comunidad científica se destacan entre quienes han llamado la atención y reclamado regulaciones y estándares más estrictos, que aseguren la sostenibilidad de la actividad.

> "*Es necesario mejorar la distribución y el uso de las rentas económicas del litio. Uno de los usos prioritarios de estos recursos debe ser el apoyo a un proceso de cambio estructural en los países de la región, en favor de actividades más intensivas en conocimiento y tecnología. Este proceso debe promover la creación de capacidades e infraestructuras tecno-productivas para la agregación de valor, la generación de encadenamientos productivos y el escalamiento en las cadenas globales de valor. No obstante, esto requiere incentivos adecuados para movilizar recursos y atraer inversión extranjera y nuevas formas de asociación entre actores públicos y privados para asegurar la transferencia de conocimiento y tecnología. Asimismo, esta línea de acción debería enmarcarse en la promoción de la economía circular para la valorización de los residuos de la actividad extractiva, con miras al desarrollo de la capacidad de reciclaje de baterías y, considerando otros minerales estratégicos, componentes y partes de tecnologías intensivas en minerales, como vehículos eléctricos o paneles solares. Esto permitiría transformar el capital natural en otras formas de capital*" [1].

Por otro lado, la evaluación ambiental (EA) es un conjunto de herramientas y procedimientos de gestión ambiental que permite la toma de decisión informada sobre las implicancias ambientales de la ejecución de proyectos de obras o actividades, o la adopción de determinadas políticas, planes o programas [2]. Para cualquier actividad productiva debe realizarse una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA). Esta permite, predecir identificar, predecir, evaluar y mitigar los potenciales impactos que un proyecto de obra o actividad puede causar al ambiente en el corto, mediano y largo plazo; siendo un instrumento que se aplica previamente a la toma de decisión sobre la ejecución de un proyecto [2].

El estudio de impacto ambiental es el documento técnico que será evaluado por la autoridad ambiental. Éste es un trabajo complejo y un componente sustancial de este estudio es la matriz de impacto ambiental.

Los indicadores ambientales que se utilizan para interpretar el estado del ambiente y sus variaciones asociadas a una determinada actividad de un proyecto se denominan indicadores de impacto ambiental [3]. Para la identificación de impactos se emplean listados o check-lists, comparación de escenarios, matrices simples y otras herramientas. Para la valoración o dimensionamiento de impactos, modelos

predictivos, matemáticos o de simulación, técnicas analíticas y/o de laboratorio, consulta a expertos, indicadores y otros. Mientras que para la evaluación de impactos se usan las matrices complejas o ponderadas [2].
Siguiendo la línea de economía circular para la valorización de los residuos de la actividad extractiva, se analiza en este trabajo, el impacto que tendría sobre el paisaje de la Puna argentina la posibilidad de agregar valor a los residuos generados durante el procesamiento de salmueras. Para el análisis se hace uso de matrices ambientales sintéticas.
Una matriz de impacto ambiental, es un método analítico, por el cual, se le puede asignar la importancia (I) a cada impacto ambiental posible de la ejecución de un proyecto en todas y cada una de sus etapas. La metodología utilizada en este trabajo para el cálculo de la importancia del impacto corresponde a la propuesta por Conesa Fernández-Vítora [4] y los valores de importancia obtenida con el impacto original se compara con el valor del impacto calculado suponiendo el uso de tecnologías de recuperación. La acción evaluada es la acumulación de barros y el impacto analizado la alteración de la topografía. Las tecnologías de recuperación propuesta corresponden a tratamientos químico de los residuos, las cuales fueron desarrolladas por los autores.
Conesa Fernandez-Vitora (2011) sostiene que para que la matriz de impacto ambiental sea efectiva y tenga efectos realmente positivos en la gestión ambiental de los proyectos, debe adelantarse en la fase de planeación o de estudio de cada actividad propuesta [5].
Este trabajo está diseñado de la siguiente manera: en el apartado siguiente se describen simplificadamente los resultados obtenidos con las tecnologías de recuperación de residuos propuesta. Luego, a partir de los resultados obtenidos experimentalmente se realiza una identificación de los posibles usos de los productos obtenidos mediante comparación con las especificaciones técnicas de productos disponibles en el mercado y normativas vigentes. Finalmente, se estudia el impacto sobre la topografía que tendría la aplicación de las tecnologías mencionadas en la Puna.

1.1. TECNOLOGIAS PARA LA RECUPERACION DE LOS RESIDUOS

En la bibliografía no existen antecedentes sobre el tratamiento de los residuos del procesamiento de salmueras. Aunque se han reportado estudios sobre la recuperación particular de algunos elementos que constituyen este residuo, como, por ejemplo, Mg^{2+} a partir de salmueras naturales (SN) y agua de mar (AM) empleando álcalis destinados a estimar la influencia de los distintos iones presentes en cada sistema estudiado [6-17]
Este grupo de trabajo estudió dos tecnologías de tratamiento químico para los residuos empleando material facilitado por empresas del medio. El tratamiento de los residuos se realizó con el objetivo de separar los componentes principales mediante ensayos de disolución empleando CO_2 y H_2SO_4 para solubilizar el magnesio y dejar en fase sólida el sulfato de calcio [18]. De la aplicación de estos tratamientos químicos se pueden obtener productos con características tales que, podrían ser empleados como materia prima o como productos utilizados en la industria de los fertilizantes y de la construcción. Básicamente, se estudiaron tres residuos cuya composición química se muestra en la Tabla 1. A estos residuos se le aplicaron las técnicas de solubilización de magnesio mediante CO_2 y H_2SO_4.

Tabla 1: Composición de muestras de cabeza.

Muestra	Mg^{2+}	Ca^{2+}	S	Componentes Mayoritarios
1	5,43	12,26	8,58	Anhidrita ($CaSO_4$), Hidróxido de magnesio ($Mg(OH)_2$), Basanita ($CaSO_4$ 6 H_2O) y Halita (NaCl)
2	4,23	4,98	5,75	Anhidrita ($CaSO_4$), Brucita ($Mg(OH)_2$), Silvita (KCl) y Halita (NaCl)

1.2. Resultados de los ensayos de solubilización con CO_2

Los resultados obtenidos de los ensayos de burbujeo con CO_2 en pulpas con diferentes concentraciones de las muestras sólidas del residuo, se muestran en la Tabla 2. En la misma tabla se indica el tiempo de contacto (t), el porcentaje de calcio (Ca) y magnesio (Mg) solubilizado y los componentes mayoritarios de los sólidos al final del ensayo.

Los ensayos se realizaron buscando alcanzar un pH final neutro (pH=7); sin embargo, dado que ese valor no pudo alcanzarse en un tiempo aceptable se decidió tomar como punto final un valor de pH≈8.

Comparando los ensayos en función de la muestra sólida empleada se observa que los resultados dependen del tipo de muestra y de la concentración de sólido en la pulpa. Una mayor concentración de sólidos en la pulpa desfavorece la reacción sólido gas disminuyendo la solubilización del magnesio.

Tabla 2: Parámetros y resultados de los ensayos de burbujeo con CO_2.

	Previo tratamiento		Tiempo de burbujeo (min)	Sólido obtenido post-tratamiento			
Ensayo	Sólido	Conc. Sólidos (%)		Mg %	Ca %	S %	Componentes mayoritarios
1	1	10	205	1,18	16,01	4,71	Calcita y Anhidrita
2	1	10	50	6,38	21,88	8,09	Anhidrita Carbonato de calcio Hidróxido de Magnesio
3	1	10	50	4,3	24,45	8,38	ND
4	2	20	40	4,73	12,99	4,95	Calcita Sulfato de calcio hidratado Halita

1.3. Resultados de los ensayos con ácido sufúrico

Los resultados obtenidos de los ensayos de solubilización con H_2SO_4 en pulpas con diferentes concentraciones de las muestras sólidas del residuo, se muestran en la Tabla 3. En la misma tabla se indica la concentración de sólidos en % p/v, el porcentaje de magnesio (Mg) solubilizado y los componentes mayoritarios de los sólidos al final del ensayo.

Tabla 3. Resultados de las muestras tratadas con H_2SO_4.

	Previo tratamiento		Sólido obtenido post tratamiento			
Ensayo	Sólido	Conc. Sólidos %	Mg %	Ca %	S %	Componentes mayoritarios
1	1	8	5,9	27,8	17,43	Yeso Hidróxido de Magnesio Calcita
2	1	10	1,65	15,95	15,58	Yeso $Ca_2(CO_3SO_4)\ 4H_2O$
3	1	15	2,03	18,27	15,76	Yeso

2. Identificación de uso y normativas relacionadas

Los componentes mayoritarios del residuo tratado podrían ser utilizados por sectores de la industria de los fertilizantes y/o de la construcción. El magnesio, bajo diferentes compuestos, es un producto constituyente de los cementos verdes [19]. Los cementos ecológicos o “green” son aquellos que se obtienen de la combinación del cemento tradicional con algún compuesto de magnesio (sulfatos, fosfatos, óxido) como aditivo que le aporta características especiales.

Por otro lado, el yeso tiene uso como componente de revoque o para moldeado de piezas. En las Tablas 4 y 5 se muestra la composición de acuerdo a Normas IRAM, para los diferentes usos del yeso.

Tabla 4. Composición de yeso para revoque. Norma IRAM 1607.

Norma IRAM 1607. Yeso cocido para revoques [20]					
Requisito	Unidad	Yeso Tipo A		Yeso Tipo B	
		Máx.	Mín.	Máx.	Mín.
$CaSO_4 + CaSO_4\ 1/2H_2O$	%	80	---	60	---

Tabla 5. Composición de yeso para moldeo de cerámica. Norma IRAM 12526.

Norma IRAM 12526. Yeso de moldeo para cerámica [21]			
Requisito	Unidad	Composición	
		Máx.	Mín.
$CaSO_4$ 1/2H_2O	%	---	95

En la Tabla 6 se describen los requisitos de acuerdo a las Normas IRAM del yeso para uso agrícola.

Tabla 6. Composición de yeso para uso agrícola. Norma IRAM 22452.

Norma IRAM 22452. Yeso para uso agrícola [22]			
Requisito	Unidad	Tipo I	Tipo II
$CaSO_4$ 2H_2O (Y)	%	Y ≥ 90	85≤Y<95
Fe_2O_3 máximo	%	1	
Al_2O_3 máximo	%	1,5	
H_2O libre máximo	%	1	
NaCl máximo	%	0,5	

En la Tabla 7 se describen los tipos de fertilizantes que contienen magnesio y calcio que actualmente se comercializan junto con sus composiciones mínimas.

Tabla 7. Nombres comerciales y composiciones de fertilizantes que se encuentran en el mercado.

		MgO	CaO	S	Mg	KO	Ca
Nombre Comercial	Marca	% mínimo					
Sulfato de Magnesio [23]	Planeta Verde	16,5		12	9,95		
Sulfato de Potasio y Magnesio [24]	Profertil			21,5	10,5	21,5	
Magnisal [24]	Brometán	16		9,6	9,65		
Sulfato de Magnesio [24]	Manuchar	16,34		13	9,85		
Sulfato de magnesio agrícola [25]	PQP	18		9,5	21,70		
Carbonato de calcio [26]	Calidra		75 total				28
Finos dolomita [26]	Calidra	75 total			5		20
Dolomita 70/30 [26]	Calidra			5	3		15
Super azufre perlado S-18 [26]	Calidra			16	20		85

En la Tabla 8 se muestran los posibles usos de los productos obtenidos luego del tratamiento ácido.

Como se observa, con ambas tecnologías se obtiene un producto sólido que cumple las especificaciones del mercado y puede ser comercializado. Entonces, si todo el residuo sólido generado se tratase en forma continua, no habría acumulación de nuevos residuos. No obstante, el mercado debería absorber la oferta de los productos generados.

Por otro lado, se debe considerar que ambas tecnologías generarán efluentes líquidos de los que se pueden recuperar otros productos comerciales. Este tema se encuentra actualmente en estudio y no es de incumbencia en este trabajo.

Tabla 8. Posibilidades de uso de los productos obtenidos luego del tratamiento de los residuos.

Tipo de tratamiento	Yeso para revoque	Yeso para moldeo	Yeso uso agrícola	Producto comercial	Nombre Producto comercial
Sin tratamiento	No	No	No	No	---
CO_2	Si	No	No	Sí (E2)	Dolomita 70/30

H_2SO_4	Si	No	Si	Sí (E1)	Dolomita 70/30

2. Análisis del impacto de las tecnologías

En este apartado se pretende analizar el impacto de aplicación de las tecnologías de recuperación en los salares de la Puna. Para ellos se determinó el factor de importancia siguiendo la metodología propuesta por [4], quien propone calcular este valor de acuerdo a la ecuación (1):

$$I = \pm [3i + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC] \quad (1)$$

Donde:

± =Naturaleza del impacto. I = Importancia del impacto, i = Intensidad o grado probable de destrucción, EX = Extensión o área de influencia del impacto, MO = Momento o tiempo entre la acción y la aparición del impacto, PE = Persistencia o permanencia del efecto provocado por el impacto, RV = Reversibilidad, SI = Sinergia o reforzamiento de dos o más efectos simples, AC = Acumulación o efecto de incremento progresivo, EF = Efecto (tipo directo o indirecto), PR = Periodicidad y MC = Recuperabilidad o grado posible de reconstrucción por medios humanos.

Al tratarse de residuos no peligrosos (Ley Nº24.051) [27], el mayor impacto que produce la acumulación de estos residuos es la alteración visual y topográfica del paisaje. Es por eso que se propone analizar en forma independiente, dentro del sistema ambiental natural, el efecto de la acumulación de barros en el paisaje. Se considera la acción de la acumulación de barros con y sin la aplicación de las tecnologías de recuperación de residuos.

2.1 Matrices de impacto sintéticas

Situación actual: Sin tratamiento de residuos			
Acción	Acumulación de barros		
Impacto:	Alteración de la topografía		
Criterio	Valor	Valoración	Justificación
Signo	-	Negativo	La alteración de la topografía puede generar impactos negativos respectos a procesos erosivos, drenajes, movimientos de la fauna, etc.
i	4	Alta	Extensión de la zona afectada
EX	1	Puntual	La acción está localizada en la zona
MO	2	Medio Plazo	Los efectos serán observables en el plazo medio
PE	4	Temporal	Mientras dure la actividad, se verá el efecto hasta el plan de cierre del proyecto
RV	4	Irreversible	Dado que se mantendrá la situación durante los años que dure el proyecto
SI	1	Sin sinergia	No se detectó sinergia en la acción
AC	1	Simple	El efecto no es acumulativo
EF	4	Directo	El efecto de la acción incide en forma directa sobre el componente
PR	4	Continuo	Es constante por un largo periodo de tiempo
MC	4	Mitigable	Es recuperable con la ejecución del plan de cierre
IMP	-38	Moderado: La afectación del mismo, no precisa prácticas correctoras o protectoras intensivas.	

Situación propuesta: con recuperación de residuos

Acción	Acumulación de barros con recuperación parcial de los mismos durante la duración del proyecto		
Impacto:	Alteración de la topografía		
Criterio	Valor	Valoración	Justificación
Signo	-	Negativo	La alteración de la topografía puede generar impactos negativos respectos a procesos erosivos, drenajes, movimientos de la fauna, etc.
i	2	Media	Extensión de la zona afectada
EX	1	Puntual	La acción está localizada en la zona
MO	2	Medio Plazo	Los efectos serán observables en el plazo medio
PE	2	Temporal	Mientras dure la actividad, se verá el efecto hasta el plan de cierre del proyecto
RV	4	Irreversible	Dado que se mantendrá la situación durante los años que dure el proyecto
SI	1	Sin sinergia	No se detectó sinergia en la acción
AC	1	Simple	El efecto no es acumulativo
EF	4	Directo	El efecto de la acción incide en forma directa sobre el componente
PR	4	Continuo	Es constante por un largo periodo de tiempo
MC	2	Mitigable	Es recuperable con la ejecución del plan de cierre
IMP	-28	Moderado: La afectación del mismo, no precisa prácticas correctoras o protectoras intensivas.	

En esta última matriz se observa que, la ponderación de los criterios i, PE y MC se ven afectados. De ellos el qué más pesa en el cálculo del impacto es el factor i. La ponderación de este último disminuye porque se considera que el tratamiento y la posterior comercialización de $CaSO_4$, eliminaría parcialmente la acumulación de barros (asumiendo que se trataría el 90% del residuo que se genera).

De la comparación de ambas matrices se observa que, si bien la importancia de la acción disminuye solo 10 puntos, respecto a la disposición de barros sin tratar, el impacto sigue siendo moderado. Sin embargo, la matriz formulada considerando la recuperación de residuos, no tiene en cuenta los siguientes factores positivos:

- Incorporación a la economía circular en una parte de un proceso puramente extractivo: Este punto se refiere a la integración de prácticas de economía circular en un proceso que tradicionalmente ha sido lineal (es decir, basado en la extracción y el desecho). En lugar de simplemente desechar los residuos, se busca reutilizarlos, lo que contribuye a un sistema más sostenible y eficiente.

- Aporte a la economía local y regional: Se trata del impacto positivo que la incorporación de valor agregado a los residuos puede tener en las economías locales y regionales. Esto puede manifestarse en el fortalecimiento de los mercados locales, la creación de nuevas oportunidades comerciales y el impulso de la economía en áreas específicas.

- Contratación de mano de obra: La implementación de nuevas tecnologías o procesos para tratar y reutilizar los residuos puede llevar a la necesidad de contratar personal adicional, lo que contribuye a la generación de empleo.

- Diversificación de la cartera de productos: es decir, la ampliación del rango de productos ofrecidos por una empresa o sector gracias al aprovechamiento de residuos. La capacidad de transformar los residuos en nuevos productos puede abrir nuevas oportunidades de mercado y reducir la dependencia de productos tradicionales.

Es importante mencionar que, los tratamientos de estos residuos a su vez generan otros impactos negativos que no fueron contemplados en la matriz sintética tales como la generación de una nueva corriente de efluentes conteniendo magnesio y sales tales como NaCl y KCl. Por lo cual debería realizarse un estudio ampliado contemplando estos otros factores. Es por ello que en trabajos futuros se analizarán matrices que contemplen los factores mediante la técnica de matrices sintéticas ponderadas.

3. CONCLUSIONES.

Las tecnologías propuestas para recuperar residuos permiten la obtención de productos que pueden comercializarse en el mercado. Si bien la reducción de los impactos negativos considerados no es destacable luego de considerar el tratamiento de los residuos, esta actividad tiene una serie de efectos positivos que pueden contribuir de manera importante al desarrollo económico y sostenible de la región. Esto es así porque las actividades de recuperación no sólo permiten la reutilización de un residuo sino también la incorporación de valor agregado a los mismos, así como también la contratación de mano de obra para realizar el tratamiento y la diversificación de la cartera de productos ampliando la oferta de una empresa o sector. En trabajos futuros se propone realizar matrices ponderadas sintéticas del impacto ambiental en la cual se supone el tratamiento de los residuos teniendo en cuenta los factores positivos y negativos mencionados, así como otros que puedan surgir y que se consideren necesarios incluir para medir el impacto.

3. REFERENCIAS.

[1] CEPAL. (2023). *Extracción e industrialización del litio. Oportunidades y desafíos para América Latina y el Caribe* [en línea]. CEPAL. https://www.cepal.org/es/publicaciones/48964-extraccion-industrializacion-litio-oportunidades-desafios-america-latina-caribe último acceso agosto 2024.

[2] MAyDS (2023). Guía para la elaboración de Estudios de Impacto Ambiental - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la República Argentina. Edición 2023. https://www.argentina.gob.ar/ambiente/desarrollo-sostenible/evaluacion-ambiental/evaluacion-de-impacto-ambiental último acceso agosto 2024.

[3] Garmendia Salvador, A.; Salvador Alcaide, A.; Crespo Sánchez, C. y Garmendia Salvador, L. (2005). Evaluación de Impacto Ambiental. Pearson Prentince Hall, Madrid.

[4] Conesa Fernández-Vítora V. (2011). Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental. 4ta edición. Ed. Mundi-Prensa Madrid-México.

[5] Extraído de https://www.nueva-iso-14001.com/2017/05/importancia-matriz-de-impacto-ambiental/, acceso 15/08/2024.

[6] Dong, H., Unluer, C., Yang, E. H., & Al-Tabbaa, A. (2017). Synthesis of reactive MgO from reject brine via the addition of NH4OH. *Hydrometallurgy*, *169*, 165-172.

[7] Mohammad, A. F., El-Naas, M. H., Al-Marzouqi, A. H., Suleiman, M. I., & Al Musharfy, M. (2019). Optimization of magnesium recovery from reject brine for reuse in desalination post-treatment. *Journal of Water Process Engineering*, *31*, 100810. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100810

[8] Seeger M., Otto W., Flick W., Bickelhaupt F., Akkerman O. (2012). Magnesium Compounds. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Ed. Wiley-BCH Verlag GMbH &Co. KGaA, Weinhei. https://doi.org/10.1002/14356007.a15_595.pub2

[9] Mohamed F. Hamoda, Noha S. Donia, Ikram M.S. Al-Attar (2020). Impact assessment of desalination plants on Kuwait Bay using GIS/water quality index analysis 176 (2020) 45-50 DOI: https://doi.org/10.5004/dwt.2020.25495

[10] Ziegenheim, S.; Szabados, M.; Kónya, Z.; Kukovecz, Á.; Pálinkó, I.; Sipos, P. (2020) Differential Precipitation of $Mg(OH)_2$ from $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ Using Citrate as Inhibitor—A Promising Concept for Reagent Recovery from $MgSO_4$ Waste Streams. *Molecules* **2020**, *25*, 5012. https://doi.org/10.3390/molecules25215012

[11] Tran, K. T., Han, K. S., Kim, S. J., Kim, M. J., & Tran, T. (2016). Recovery of magnesium from Uyuni salar brine as hydrated magnesium carbonate. *Hydrometallurgy*, *160*, 106-114. https://doi.org/10.3390/molecules25215012

[12] Botha, A., & Strydom, C. A. (2001). Preparation of a magnesium hydroxy carbonate from magnesium hydroxide. *Hydrometallurgy*, *62*(3), 175-183., doi:10.1016/S0304-386X(01)00197-9

[13] CHENG, W., Zhibao, L., & Demopoulos, G. P. (2009). Effects of temperature on the preparation of magnesium carbonate hydrates by reaction of MgCl2 with Na2CO3. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, *17*(4), 661-666.

[14] Wang Y. et al., (2008). J. Cryst. Growth, https://dx.doi.org/10.1021/acs.iecr.0c03305.

[15] Tan W., et al., (2017). Environ Sci Pollut Res, doi 10.1007/s11356-017-8480-0.

[16] Reiss, A. G., Gavrieli, I., Rosenberg, Y. O., Reznik, I. J., Luttge, A., Emmanuel, S., & Ganor, J. (2021). Gypsum precipitation under saline conditions: thermodynamics, kinetics, morphology, and size distribution. *Minerals*, *11*(2), 141.

[17] Wang, Y., Li, Z., & Demopoulos, G. P. (2008). Controlled precipitation of nesquehonite (MgCO3· 3H2O) by the reaction of MgCl2 with (NH4) 2CO3. *Journal of crystal growth*, *310*(6), 1220-1227.

[18] Valdez S., Orce Schwarz A., Thames Cantolla M., Sanguino M. *Alternativas de Tratamiento del Residuo Alcalino de La Industria de Litio con Miras a su Posterior Aprovechamiento. Resultados Preliminares* (2023) Jornadas Argentinas de Tratamiento de Minerales. En prensa.

[19] Valdez S., Quintana M.V., Orce Schwarz A., Thames Cantolla M. *Cementos a Base de Magnesio: Indagaciones Preliminares Sobre El Empleo De Subproductos De La Industria Del Litio Para Su Elaboración* (2023) Jornadas Argentinas de Tratamiento de Minerales. En prensa.

[20] IRAM 1607-1:1970.

[21] IRAM 12526-1: 1956.

[22] IRAM 22452-1:2006.

[23] https://tiendaplanetaverde.com.ar/productos/FSM500X1S/ último acceso julio 2024.

[24] https://todo-agro.com/s/?q=magnesio último acceso 2024.

[25] https://pqpprofesional.com/ último acceso julio 2024.

[26] https://www.calidra.com.ar/ último acceso julio 2024.

[27] https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-25675-79980/ último acceso agosto2024

ANÁLISIS DE LA CARGA TÉRMICA AMBIENTAL SEGÚN LEY Nº 19587/72 Y SU DECRETO REGLAMENTARIO Nº 351/79

José Martín Glavas

Campus Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE)
josemartinglavas18@gmail.com

RESUMEN
El análisis de la carga térmica ambiental en el Campus de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE) realizado por la Asignatura Higiene y Seguridad Industrial del Quinto Año de la Carrera Ingeniería Industrial. En las mediciones se ha respetado las especificaciones técnicas del Anexo II, Artículo Nº 60, Capítulo Nº 8 Carga Térmica de la Ley Nº 19587/72 de Higiene y Seguridad en el Trabajo y su Decreto Reglamentario Nº 351/79 de la República Argentina. El ser humano es un organismo homeotermo (mantiene constante su temperatura corporal independiente de la temperatura ambiente) y endotermo (capaz de producir calor para mantener la temperatura corporal), pequeños cambios de temperatura (del orden de 1° grado centígrado) producen desequilibrios en las funciones vitales. Con cambios de mayor magnitud, las modificaciones son tan importantes que se pone en peligro la vida. Dado a que la exposición al calor es capaz de generar reacciones patológicas en el cuerpo, se debe estar en condiciones de realizar un análisis de la exposición a la carga térmica; la valoración de ambos, el estrés térmico y la tensión térmica, puede utilizarse para evaluar el riesgo de la salud y seguridad de las personas. Estas mediciones se realizaron en el Decanato (ambiente cerrado) y en el Acceso a Sala de Proyecciones (ambiente abierto), se empleó un monitor de carga térmica, marca Tenmars y modelo Nº TM – 1880.
Para determinar la ubicación (altura) del equipo y número de lecturas, se debe comprobar la homogeneidad de la temperatura en los alrededores del puesto de trabajo a distintas alturas (desde nivel de piso), tomando dos lecturas de preferencia en forma simultánea utilizando trípode y extensiones:
a) Lectura 1: 1,7 metros (Acceso a Sala de Proyecciones Posición Parado).
b) Lectura 2: 1,1 metros (Decanato Posición Sentado).
Los alumnos de esta asignatura se enfocaron al procesamiento de la información relevada en campo, con relación a los requerimientos normativos vigentes aplicables.

Palabras Claves: Análisis, Exposición, Carga Térmica, Temperatura, Fisiología.

ABSTRACT
Analysis of the environmental thermal load on the Campus of the Faculty of Agricultural Sciences of the National University of the Northeast (UNNE) carried out by the Industrial Hygiene and Safety Subject of the Fifth Year of the Industrial Engineering Degree. The measurements have been respected the technical specifications of Annex II, Article No. 60, Chapter No. 8 Thermal Load of Law No. 19587/72 on Hygiene and Safety at Work and its Regulatory Decree No. 351/79 of the Argentine Republic. The human being is a homeothermic organism (maintains its body temperature constant regardless of ambient temperature) and endothermic (capable of producing heat to maintain body temperature), small changes in temperature (of the order of 1 degree Celsius) produce imbalances in vital functions. With larger changes, the modifications are so important that life is endangered. Since heat exposure can cause pathological reactions in the body, it is necessary to be able to perform a heat stress analysis; the assessment of both heat stress and thermal strain can be used to evaluate the risk to people's health and safety. These measurements were made in the Dean's Office (closed environment) and in the Projection Room Entrance (open environment). A Tenmars heat stress monitor, model No. TM – 1880, was used. To determine the location (height) of the equipment and number of readings, the homogeneity of the temperature in the surroundings of the workplace at different heights (from floor level) must be checked, preferably taking three readings simultaneously using a tripod and extensions:
a) Reading 1: 1.7 meters (Access to the Screening Room Standing Position).
b) Reading 2: 1.1 meters (Deanery Sitting Position).
The students of this subject focused on the processing of information collected in the field, in relation to the current applicable regulatory requirements.

Keywords: Analysis, Exposure, Thermal load, Temperature, Physiology.

1- INTRODUCCIÓN.

ANEXO II – Artículo Nº 60 – Capítulo Nº 8 Carga Térmica – Decreto Nº 351/79

Carga térmica ambiental: es el calor intercambiado entre el hombre y el ambiente.

Carga térmica: es la suma de carga térmica ambiental y el calor generado en los procesos metabólicos.

Condiciones higrotérmicas: son las determinadas por la temperatura, humedad, velocidad del aire, radiación térmica y de los requisitos de la ropa.

El hombre es un ser homeotermo, es decir, para que se verifiquen las condiciones que son la base de la vida, es necesario que la temperatura corporal se mantenga estable; pequeños cambios de temperatura producen graves desequilibrios. El metabolismo es una reacción que genera calor y la temperatura del cuerpo es una resultante del equilibrio dinámico entre la producción de calor y el intercambio calórico con el medio ambiente que rodea al individuo.

Si el organismo no puede eliminar calor, este se acumula y se eleva la temperatura corporal, debiendo, el organismo, adaptarse a las nuevas condiciones. Si la elevación continúa, y no puede resolverse el problema, sobreviene la muerte.

La transferencia de calor obliga siempre a la existencia de una diferencia de temperatura. Cuando el aire está más frío que la piel, se pierde calor por convección y radiación, en caso contrario se puede ganar calor.

Si la temperatura del aire es superior a la de la piel, los mecanismos de transferencia por radiación y convección acumulan calor en el cuerpo en lugar de disiparlo, y en esas condiciones, es necesario recurrir a otro mecanismo de pérdida de calor que es la evaporación del sudor o transpiración de la piel.

Las respuestas fisiológicas que se producen para amortiguar el efecto del calor son:
- Dilatación de los vasos sanguíneos de la piel.
- Cambios de frecuencia del ritmo cardíaco.
- Cambios en la presión sanguínea.
- Movilización de la sangre.
- Desplazamientos de agua en el cuerpo.
- Constricción de los vasos sanguíneos de ciertas vísceras.
- Sudoración.
- Elevación de la temperatura corporal.
- Aumento de la ventilación pulmonar.
- Relajación muscular.

A- Evaluación de las condiciones higrotérmicas.
Se determinarán las siguientes variables con el instrumental indicado en el Anexo II:
A.1- Temperatura del bulbo seco.
A.2- Temperatura del bulbo húmedo natural.
A.3- Temperatura del globo.

B- Estimación del calor metabólico.
Se determinará por medio de las tablas que figuran en este Anexo, según la posición en el trabajo y el grado de actividad.

C- Las determinaciones se efectuarán en condiciones similares a las de la tarea habitual. Si la carga térmica varía a lo largo de la jornada, ya sea por cambios de las condiciones higrotérmicas del ambiente, por ejecución de tareas diversas con diferentes metabolismos, opor desplazamiento del hombre por distintos ambientes, deberá medirse cada condición habitual de trabajo.

D- El índice se calculará según éste a fin de determinar si las condiciones son admisibles de acuerdo a los límites allí fijados. Cuando ello no ocurra deberá procederse a adoptar las correcciones que la técnica aconseje.

1.1- Instrumental a emplear.

Los aparatos que se enumeran a continuación constituyen un conjunto mínimo para el análisis de la carga térmica ambiental, sin excluir otros que puedan cumplir eficientemente los mismos objetivos, siempre que sus resultados sean comprobables con los obtenidos con la metodología fijada por esta Reglamentación.

1.1.1- Globotermómetro.

Se medirá con éste la temperatura del globo y consiste en una esfera hueca de cobre, pintada de color negro mate, con un termómetro o termocupla inserto en ella, de manera que el elemento sensible esté ubicado en el centro de la misma, con espesor de paredes de 0,6 mm y un diámetro de 150 mm aproximadamente.
Se verificará la lectura del mismo cada 5 minutos, leyendo su graduación a partir de los primeros 20 minutos hasta obtener una lectura constante.

1.1.2- Termómetro de bulbo húmedo natural.

Se medirá con éste la temperatura de bulbo húmedo natural y consiste en un termómetro cuyo bulbo estará recubierto por un tejido de algodón. Este deberá mojarse en agua destilada durante no menos de media hora antes de efectuar la lectura, se prolongará aproximadamente una longitud igual a la del bulbo y estará sumergido en un recipiente conteniendo agua destilada.

1.2- Estimación del calor metabólico.

Se realiza por medio de tablas según la posición en el trabajo y el grado de actividad.
Se considerará el calor metabólico (M) como la sumatoria del metabolismo basal (MB), y las adiciones derivadas de la posición (MI) y del tipo de trabajo (MII), por lo que:

$$M = MB + MI + MII$$

En donde:

1.2.1- Metabolismo basal (MB).

Se considerará a MB = 70 W

1.2.2- Adición derivada de la posición (MI).

Posición del cuerpo	MI (W)
Acostado o sentado	21
De pie	42
Caminando	140
Subiendo pendiente	210

1.2.3- Adición derivada del tipo de trabajo.

Tipo de trabajo	MII (W)
Trabajo manual ligero	28
Trabajo manual pesado	63
Trabajo con un brazo: Ligero	70
Trabajo con un brazo: Pesado	126
Trabajo con ambos brazos: Ligero	105

Trabajo con ambos brazos: Pesado	175
Trabajo con el cuerpo: Ligero	210
Trabajo con el cuerpo: Moderado	350
Trabajo con el cuerpo: Pesado	490
Trabajo con el cuerpo: Muy pesado	630

Efectuando el cálculo del calor metabólico (M) y la evaluación de la carga térmica (°C - TGBH), en la siguiente tabla con la cual se determina los porcentajes de trabajo y descanso por cada hora:

LÍMITES PERMISIBLES PARA LA CARGA TÉRMICA
Valores dados en ºC – TGBH

Régimen de trabajo y descanso	Tipo de trabajo		
	Liviano (menos de 230 W)	Moderado (230 – 400 W)	Pesado (más de 400 W)
Trabajo continuo	30,0	26,7	25,0
75 % trabajo y 25 % descanso, cada hora	30,6	28,0	25,9
50 % trabajo y 50 % descanso, cada hora	31,4	29,4	27,9
25 % trabajo y 75 % descanso, cada hora	32,2	31,1	30,0

Trabajo continuo: Ocho horas diarias (48 horas semanales).

Si el lugar de descanso determina un índice menor de 24 ºC (TGBH) el régimen de descanso puede reducirse en un 25 %.

Conversión: Kcal/h = 1,163 Watt

1.3- Análisis de la carga térmica.

A efectos de analizar la exposición de los trabajadores sometidos a carga térmica, se calculará el Índice de la Temperatura Globo Bulbo Húmedo (TGBH).
Este cálculo partirá de las siguientes ecuaciones:

a- Para lugares interiores o exteriores sin carga solar TGBH = 0,7 TBH + 0,3 TG.
b- Para lugares exteriores con carga solar TGBH = 0,7 TBH + 0,2 TG + 0,1 TBS.

Donde:

TGBH: Índice de temperatura globo bulbo húmedo.

TBH: Temperatura del bulbo húmedo natural.

TBS: Temperatura del bulbo seco.

TG: Temperatura del globo.

Las situaciones no cubiertas por la presente reglamentación, serán resueltas por la autoridad competente de acuerdo con la mejor información disponible.

2- DESARROLLO.

Un estrés térmico medio o moderado puede causar malestar y puede afectar de forma adversa a la

realización del trabajo y la seguridad, pero no es perjudicial para la salud. A medida que el estrés térmico se aproxima a los límites de tolerancia humana. Aumenta el riesgo de los trastornos relacionados con el calor.

La tensión térmica es la respuesta fisiológica global resultante del estrés térmico. Los ajustes fisiológicos se dedican a disipar el exceso de calor del cuerpo.

El proceso de la toma de decisión debe iniciarse si hay informes o malestar debidos al estrés térmico o cuando el juicio profesional lo indique como se indica a continuación:

ANÁLISIS DE LA CARGA TÉRMICA AMBIENTAL		
Datos del		
Razón Social: Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE)		
Dirección: Juan Bautista Cabral Nº 2131		
Localidad: Corrientes		
Provincia: Corrientes		
CP: 3400	CUIT Nº: 30 – 99900421 – 7	
Datos para la		
Marca, modelo y número de serie del instrumento utilizado: Monitor de Carga Térmica, Marca Tenmars, Modelo TM – 1880 y Nº Serie 180700515		
Fecha del certificado de calibración del instrumento utilizado en la medición: 19/01/2024		
Fecha de la medición: 12/06/2023	Hora de inicio: 16:00	Hora finalización:
Condiciones atmosféricas: Humedad Relativa = 62,2 % Temperatura = 26,4 ºC Presión = 1004,1 hPa		
Horarios/turnos habituales de trabajo: Miércoles de 16:00 a 20:00		
Describa las condiciones normales y/o habituales de trabajo: Asignatura Higiene y Seguridad Industrial del Quinto Año de la Carrera de Ingeniería Industrial		
Describa las condiciones de trabajo al momento de la medición: Se realizaron mediciones en los distintos sectores de este campus, ellos son: Acceso a Sala de Proyecciones y Decanato Posición Sentado (véase pág. Nº 10).		

2.1- Estrategias de muestreo.

Los puestos de trabajo muestreados, el número y duración de las mediciones y el equipo utilizado, se han seleccionado de acuerdo:

- Información aportada por los trabajadores (personal docente y no docente de la facultad).
- La descripción de tareas y los tiempos de exposición facilitados por la institución.
- El criterio técnico en función de la normativa vigente.

2.2- Especificaciones de la medida:

a) Lectura 1: 1,7 metros ((Acceso a Sala de Proyecciones Posición Parado).

b) Lectura 2: 1,1 metros (Decanato Posición Sentado).

2.3- Estimación del calor metabólico por puesto de trabajo.

2.3.1- Acceso a Sala de Proyecciones Posición Parado.

Condiciones ambientales:
- Humedad Relativa = 60,5 %
- Temperatura del Aire = 26,5 ºC

M = MB + MI + MII

Donde:
MB = 70 W, MI = 42 W y MII = 105 W
M = (70 + 42 + 105) W = 217 W

2.3.2- Decanato Posición Sentado.

Condiciones ambientales:
- Humedad Relativa = 63,8 %
- Temperatura del Aire = 26,3 ºC

M = MB + MI + MII

Donde:
MB = 70 W, MI = 21 W y MII = 105 W
M = (70 + 21 + 105) W = 196 W

La aclimatación es la adaptación fisiológica gradual que mejora la habilidad del individuo a tolerar el estrés térmico, la aclimatación completa al calor requiere hasta tres semanas de actividad física continua en condiciones de estrés térmico similares a las esperadas en el trabajo. Esta aclimatación se empieza a perder cuando la acttividad en esas condiciones de estrés térmico es discontinua, teniendo lugar una pérdida evidente después de cuatro días, con el fin de aplicar los criterios de la tabla que se detalla a continuación, a un trabajafor se lo considera aclimatado cuando tiene un historial de exposiciones recientes al estrés térmico (por ejemplo: 5 en los últimos 7 días). Los valores TGBH están expresados en grados centígrados (ºC) y representan los umbrales próximos al límite superior de la categoría del gasto energético:

Decreto Nº 351/79 – ANEXO II – TABLA 2 – Criterios de selección para la exposición al estrés térmico (Valores TGBH en ºC)

Exigencias de trabajo	Aclimatado			Sin aclimatar			
	Ligero	Moderado	Muy pesado	Ligero	Moderado	Pesado	Muy pesado
100 % trabajo	29,5	27,5	–	27,5	25	22,5	–
75 % trabajo 25 % descanso	30,5	28,5		29	26,5	24,5	
50 % trabajo 50 % descanso	31,5	29,5	27,5	30	28	26,5	25
25 % trabajo 75 % descanso	32,5	31	29,5	31	29	28	26,5

Si los ambientes en las zonas de trabajo y descanso son diferentes, se debe calcular y utilizar el tiempo medio horario ponderado. este debe usarse también para cuando hay variación en las demandas de trabajo entre horas. Los valores tabulados se aplican en relación con la sección de "régimen de trabajo - descanso", asimilándose 8 horas de trabajo al día en 5 días a la semana con descansos convencionales.

No se dan valores de criterio para el trabajo continuo y para el trabajo con hasta un 25% de descanso en una hora, porque la tensión fisiológica asociada con el trabajo "muy pesado" para los trabajadores menos acostumbrados es independiente del índice TGBH. No se recomienda criterios de selección y se debe realizar un análisis detallado y/o control fisiológico como se detalla a continuación:

TABLA 3: Ejemplos de actividades dentro de las categorías de gasto energético

Categorías	Ejemplos de actividades
Reposada	- Sentado sosegadamente. - Sentado con movimiento moderado de losbrazos.
Ligera	- Sentado con movimientos moderados debrazos y piernas. - De pie, con un trabajo ligero o moderado en una máquina o mesa utilizando principalmentelos brazos. - Utilizando una sierra de mesa. - De pie, con trabajo ligero o moderado en una máquina o banco y algún movimiento a su alrededor.

ANÁLISIS DE LA CARGA TÉRMICA AMBIENTAL			
Razón Social: Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE)			CUIT Nº: 30 – 99900421 – 7
Domicilio: Juan Bautista Cabral Nº 2131	Localidad: Corrientes	CP: 3400	Provincia: Corrientes

Punto de Medición	Sector	Temp. Bulbo Seco (TBS) [ºC]	Temp. Globo (TG) [ºC]	Temp. Bulbo Húmedo (TBH) [ºC]	Temp. Globo Bulbo Húmedo (TGBH) [ºC] Interior/Exterior	Valor de Ref. TGBH según Tabla 2	Categoría y Actividad según Tabla 3	Cumple (SI/NO)
Acceso a Sala de Proyecciones Posición Parado	A 1,7 m	26,5	26,4	21,0	22,7 (Exterior)	30,5	Ligera	SI
Decanato Posición Sentado	A 1,1 m	26,3	26,2	21	22,9 (Interior)	30,5	Ligera	SI

3. CONCLUSIONES.

3.1- A 1,7 metros (Acceso Sala de Proyecciones Posición Parado).

M = 217 W (calor metabólico)

Régimen de trabajo y descanso	Tipo de trabajo
	Liviano (menos de 230 W)
Trabajo continuo	30,0
75 % trabajo y 25 % descanso, cada hora	30,6
50 % trabajo y 50 % descanso, cada hora	31,4
25 % trabajo y 75 % descanso, cada hora	32,2

TBGH (ºC) hallado por debajo del valor de referencia TBGH (aclimatado y ligero) según Tabla 2 (véase pág. Nº 8) y con categorías (ligera) y actividades (de pie, con trabajo ligero o moderado en una máquina o banco y algún movimiento a su alrededor) según Tabla 3 (véase pág. Nº 9).

3.2- A 1,1 metros (Decanato Posición Sentado).

M = 196 W (calor metabólico)

Régimen de trabajo y descanso	Tipo de trabajo
	Liviano (menos de 230 W)
Trabajo continuo	30,0
75 % trabajo y 25 % descanso, cada hora	30,6
50 % trabajo y 50 % descanso, cada hora	31,4
25 % trabajo y 75 % descanso, cada hora	32,2

TBGH (ºC) hallado por debajo del valor de referencia TBGH (aclimatado y ligero) según Tabla 2 (véase pág. Nº 8) y con categorías (ligera) y actividades (sentado con movimientos moderados de brazos y piernas) según Tabla 3 (véase pág. Nº 9).

El control de los signos y síntomas de los trabajadores estresados por el calor es una buena práctica de la higiene industrial.
Sobre una base individual, los límites representan el tiempo de cese de una exposición hasta que la recuperación es completa.
Debe suspenderse la exposición individual cuando ocurra alguna de las situaciones que se indican:
Si un trabajador parece estar desorientado o confuso, o sufre una irritabilidad inexplicable, malestar o síntomas parecidos al de la gripe, debe ser retirado a un lugar de descanso fresco con circulación rápida de aire y permanecer en observaciones por personal calificado. Puede ser necesario una atención inmediata de emergencia. Si la sudoración se interrumpe y la piel se vuelve caliente y seca, es esencial una atención de emergencia inmediata, seguida de la hospitalización. Los métodos de control son:

Ventilación:
- ✓ Por extracción puede ser utilizada para remover el exceso de calor y/o de humedad si una fuente seca y fresca está disponible.
- ✓ Es posible encerrar la fuente de producción de calor como en el caso de algunas clases de hornos, una entrada de aire presurizado puede ser suficiente para prevenir el exceso de calor entrante a la sala o zona de trabajo.
- ✓ En los casos de procesos que no están servidos por sistemas de extracción localizada puede ser indicada la ventilación generalizada.

Cabinados:

Esta solución es la que se debe adoptar en cualquier situación de un ambiente intolerable para el operador.

Control de la carga radiante:
Se debe trabajar sobre la utilización de pantallas o la cobertura de las superficies con laminados de bajo índice de emisión.

4. REFERENCIAS.

Higiene y Seguridad en el Trabajo (1972), Ley Nº 19587, Decreto Reglamentario (1979), Nº 351, Argentina, Anexo II, Artículo Nº 60, Capítulo Nº 8 Carga Térmica, Argentina.

SRT (Superintendencia de Riesgos del Trabajo), Página Web, www.srt.gob.ar, Argentina.

AHRA (Asociación de Higienistas Ocupacionales y Ambientales de la República Argentina).

Manual de Operación, Monitor de Carga Térmica, Marca Tenmars, Modelo TM – 1880 y Nº Serie 180700515, Taiwán.

Agradecimientos

- A mi papá Miguel y mamá Lida que me dieron la vida y me enseñaron la cultura del estudio y trabajo.

ANÁLISIS DE RIESGOS EN LOS PROCESOS: REVISIONANDO LA METODOLOGÍA BOW TIE

REY, Eduardo; CORTESE, Sergio

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Haedo
erey@frh.utn.edu.ar; scortese@frh.utn.edu.ar

RESUMEN

Bow Tie (moño, en inglés) es una metodología de análisis de riesgos en los procesos productivos.
A partir de la definición de un "Escenario de Riesgo" ("Top Event" en la bibliografía especializada) esta metodología permite establecer las causas y consecuencias, así como las acciones preventivas, de mitigación y de control que puedan implementarse para reducir o limitar el riesgo. Analiza y comunica escenarios de riesgo, enfocándose en las barreras de protección basadas en el uso de LOPA (análisis mediante capas de protección)
Se estructura mediante un diagrama de bloques que representa, hacia la izquierda, las causas inmediatas relacionadas con el escenario de riesgo y, hacia la derecha, las consecuencias también inmediatas asociadas al mismo escenario de riesgo.
Para cada causa y consecuencia se establece un valor de probabilidad de ocurrencia final una vez implementadas las barreras que previenen o mitigan, en cada caso. Dicho valor se denomina PFD (Probabilidad de Falla a la Demanda)
Sin embargo, nos preguntamos si el Bow Tie permite ir más allá de las primeras causas y consecuencias combinando con otras técnicas, conduciendo a la generación de un árbol de fallas (causas) y de eventos (consecuencias) que podrá tener más de un nivel por rama.
De esta forma, este trabajo permitirá establecer las bases teóricas de este reversionado de la metodología, de carácter inédito y novedoso, para combinar las bondades y fortalezas de ambas metodologías de análisis.
Consideramos que redundará en un aporte significativo al desarrollo de nuevas herramientas para el análisis de riesgos en los procesos.

Palabras Claves: Bow Tie; riesgos; procesos; 5 Por Qué; causas; consecuencias

ABSTRACT

Bow Tie is a risk analysis methodology for production processes.
Based on the definition of a "Risk Scenario" ("Top Event" in the specialized literature), this methodology allows determination of causes and consequences, as well as preventive, mitigation and control actions that can be implemented to reduce or limit the risk. It analyzes and communicates risk scenarios, focusing on protection barriers and based on LOPA (Layers Of Protection Analysis)
It is structured using a block diagram that represents, to the left, the immediate causes related to the risk scenario and, to the right, the immediate consequences associated with the same risk scenario.
For each cause and consequence, a value of probability of final occurrence is established once the barriers that prevent or mitigate are implemented in each case. This value is called PFD (Probability of Failure on Demand).
However, we wonder if Bow Tie allows us to go beyond the first causes and consequences by combining them with other techniques, leading to the generation of a tree of faults (causes) and events (consequences) that may have more than one level per branch.
In this way, this paper will allow us to establish the theoretical bases of this new and of the methodology, to combine the advantages and strengths of both analysis methodologies.
We believe that it will result in a significant contribution to the development of new tools for risk analysis in processes.

Keywords: Bow Tie; risk; processes; 5 whys; causes; consequences

1. INTRODUCCIÓN

Bow Tie (moño, en inglés) es un método ampliamente utilizado tanto para el análisis de riesgos en los referidos a los daños a las personas en los procesos productivos dentro de una planta como para los riesgos relacionados con la calidad o las decisiones comerciales.

Bow Tie permite establecer las relaciones entre las causas de un incidente, las barreras preventivas y las consecuencias potenciales, representándolos en un diagrama en forma de moño (bow tie). Este enfoque se ha extendido a diversas industrias, incluyendo la aviación, la energía y la manufactura, debido a su eficacia para mejorar la comprensión y gestión de riesgos.

Pero la metodología analiza solo las causas y consecuencias directas relacionadas con el evento peligroso no deseado. Podríamos afirmar que es un análisis uni-nivel.

Nos preguntamos en este informe cómo sería la misma metodología si aplicásemos el análisis multi-nivel. O sea, las causas de las causas junto con las consecuencias de las consecuencias.

Siendo que, en la actualidad, por la complejidad del análisis existen softwares específicos que ayudan al desarrollo de la metodología en su formato estándar (uni-nivel) también nos preguntamos si la adaptación de los mismos a la modalidad propuesta del análisis multi-nivel es fácil de alcanzar o, por el contrario, requiere complejos algoritmos de difícil aplicabilidad para los análisis prácticos que se llevan a cabo en las empresas.

2. METODOLOGÍA BOW TIE

2.1 Breve reseña histórica

No se sabe con certeza los orígenes ni la fecha exacta del desarrollo de la metodología BOW TIE, se tiene antecedentes que los primeros diagramas reales de BOW TIE aparecieron en el ICI de Inglaterra en el año 1979 en una conferencia sobre análisis de peligros dada en la Universidad de Queensland, Australia.
El catastrófico incidente de Piper Alpha (1988) revolucionó al mundo del petróleo. Entre otros aspectos, el informe de investigación concluyó que, por aquel entonces, urgía desarrollar una metodología sistemática de análisis que permitiera evaluar el grado de protección de tales instalaciones.
A principios de los 90 la Royal Dutch / Shell Group estandarizó la metodología BowTie. Estableció las primeras reglas de uso con la finalidad de crear una metodología de estudio que permitiera asegurar la implementación de las capas de protección más adecuadas en cualquier
operación del mundo.

2.2 Creación de un Bow Tie

Como fue mencionado, Bow Tie es una metodología de análisis de riesgos en procesos para establecer sus causas y consecuencias, así como la determinación de acciones tanto preventivas, de mitigación como de control que puedan implementarse para reducir o limitar el riesgo.

Analiza y comunica escenarios de riesgo, enfocándose en las barreras de protección.

Se estructura mediante un diagrama de bloques que comienza con un bloque central (el nudo del moño) denominado “escenario de riesgo”. Del lado izquierdo del bloque central se listan las causas inmediatas o directas, denominadas “amenazas” en la metodología y, hacia el lado derecho, las consecuencias debidas a la ocurrencia del evento no deseado del escenario de riesgo.

Mediante el uso de un gráfico de bloques, utilizando lo hasta ahora descripto, el Bow Tie se vería de esta forma:

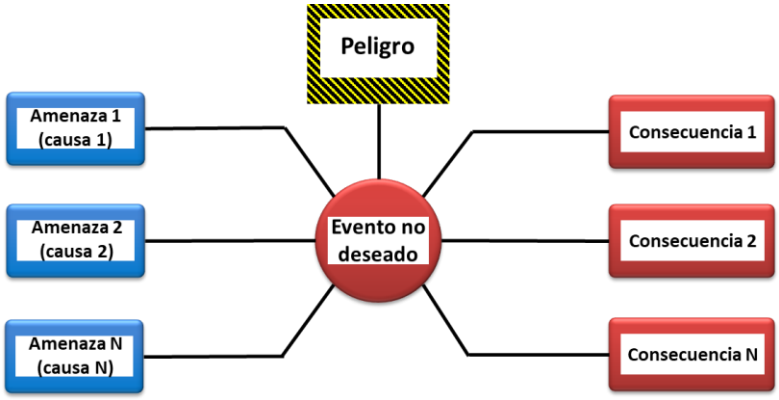


Figura 1: representación inicial del Bow Tie

Una característica importante que podemos concluir del gráfico es que no tenemos más que un solo nivel de amenazas (causas) conectadas al evento no deseado y, del mismo modo, no se representan más que las consecuencias directas que surgirán ante la aparición del evento no deseado.

Continuando con la construcción del Bow Tie, en cada una de las ramas se interponen entre las amenazas y el evento no deseado o entre el evento no deseado y sus consecuencias las denominadas “barreras” que, basadas en la técnica LOPA (análisis de capas de protección), están destinadas a reducir la probabilidad de ocurrencia tanto sea de las amenazas como de las consecuencias.

Incorporando, entonces, las barreras la gráfica del Bow Tie quedaría conformada de la siguiente manera:



Figura 2: representación del Bow Tie incluyendo barreras

Finalmente, se deben incorporar los denominados “Factores de degradación” (o escalamiento) que son aquellos que impiden a la barrera cumplir su función de prevención o mitigación correctamente. Asociados a estos factores de degradación existen nuevas barreras denominadas “barreras de control”, la cuales también deben contemplar su degradación con los bloques de “degradación del control” que tienen, a su vez, sus propias barreras de control (“barreras de control (bis)”)

De esta forma, hemos conformado un ejemplo con todos los elementos que conformarían un Bow Tie, en la Figura 3:

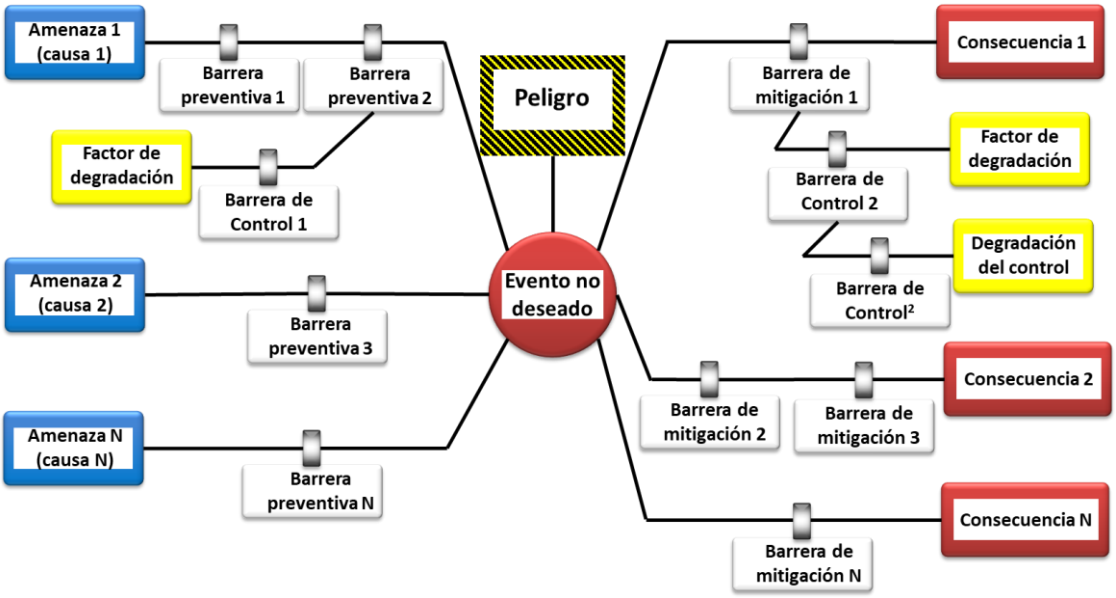


Figura 3: Bow Tie con la representación de todos sus componentes

En una representación esquemática del Bow Tie podríamos establecer una descripción muy ajustada de todos sus componentes en la figura siguiente:

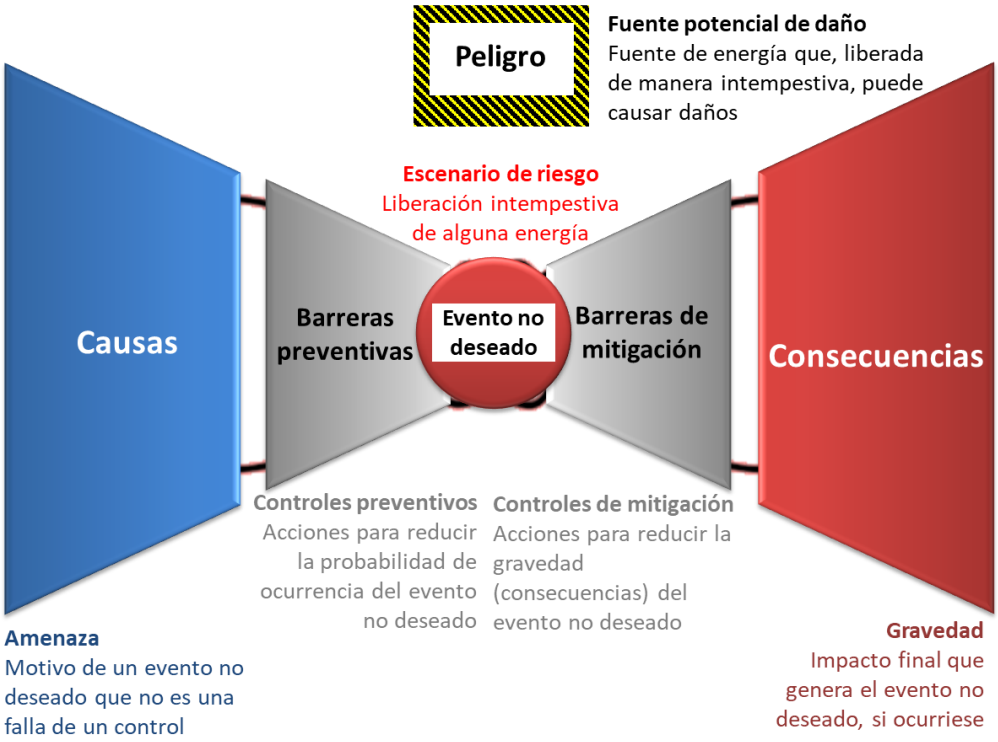


Figura 4: representación esquemática del Bow Tie

2.3 LOPA

El método LOPA, en inglés: Layers Of Protection Analysis, ideado por James Reason en 1997 como el "Modelo de Queso Suizo" como muestra la siguiente figura (Safety, 2001, Second Edition):

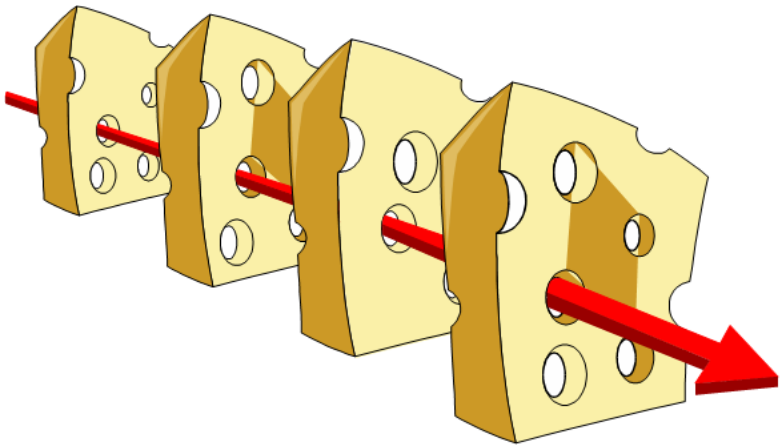


Figura 5: modelo de queso suizo (LOPA)

El modelo se basa en los principios de "defensa en profundidad", con rebanadas de queso suizo que representan capas protectoras (es decir, barreras) que evitan que se materialicen los peligros y que, entonces, se produzcan sus consecuencias. Reason observa que las barreras nunca son 100% efectivas y cada una tiene debilidades intermitentes no deseadas. Los agujeros en las rebanadas de queso representan factores de degradación (es decir, reducciones en la efectividad o confiabilidad) en partes individuales del sistema y varían continuamente en tamaño y posición en todas las rebanadas. Para que ocurra un accidente importante, los agujeros en el queso suizo deben alinearse permitiendo una "trayectoria del accidente" de modo que una amenaza pase a través de todos los agujeros en todas las defensas (es decir, barreras) lo que lleva a una falla o un accidente importante. También muestra que si una barrera falla, entonces las barreras subsiguientes son llamadas a accionar (demanda de la barrera).

Aparece entonces el primer concepto cuantitativo de la metodología: se puede establecer cuál es la probabilidad de que las barreras fallen cuando no deberían hacerlo. Dicho valor se denomina PFD – Probabilidad de Falla a la Demanda (López, 2012)

De esta forma, para que el evento peligroso ocurra, los agujeros se tuvieron que alinear con una probabilidad surgida de multiplicar los PFD de cada una de las rebanadas:

$$\textbf{Probabilidad Ocurrencia}_{\text{evento peligroso}} = PFD_{\text{rebanada 1}} * PFD_{\text{rebanada 2}} * \ldots * PFD_{\text{rebanada N}} \quad (1)$$

Esto, por supuesto, implica que cuando más capas se agreguen a nuestra función integrada de seguridad menor será la probabilidad de que el sistema, en su conjunto falle.

2.4 Barreras del Bow Tie

Son los componentes del Bow Tie que, basados en la metodología LOPA (Análisis de las Capas de Protección), permiten establecer elementos que, asociados a las amenazas, son acciones de prevención y que, cuando están asociadas a las consecuencias, son acciones de mitigación. Los elementos pueden ser: sistemas integrados de seguridad; alarmas; procedimientos; etc.

Sin embargo, para que esos elementos puedan ser calificados como una barrera deben ser capaces de: Detectar; Decidir; Actuar por sí mismo para lograr su objetivo que es el de reducir la probabilidad de ocurrencia de las causas o los impactos negativos de las consecuencias. Además, deben cumplir con la premisa de ser: Eficaces, Independientes y Auditables (IPL – Independent Protection Layer)

Cada rama que conecta las amenazas y las consecuencias con el evento no deseado del escenario de riesgo tiene una probabilidad de ocurrencia intrínseca asociada al valor que surge de la experiencia en las operaciones y sus registros históricos. En el caso más extremo podríamos decir que la probabilidad de ocurrencia de una amenaza o de una consecuencia es del 100% (1.0). O sea, si no hay nada que se lo impida, tanto sea una amenaza como una consecuencia ocurrirán sin remedio.

Cuando interponemos una barrera en cada rama, ésta debería ser capaz de prevenir por sí sola la aparición de la amenaza o la mitigación de la consecuencia, según sea el tipo de barrera (de prevención o mitigación).

Sin embargo, las barreras pueden fallar. En efecto, la metodología Bow Tie prevé la asociación de los denominados: “factores de degradación” en cada barrera (ver Figura 3). Son los modos de falla de las barreras. A estos factores de escalamiento se les puede asociar, a su vez, barreras de control que eviten o reduzcan la ocurrencia de la falla de la propia barrera. De todo esto, surge que cada barrera tendrá un valor de PFD asociado.

Como cada rama de las amenazas o consecuencias tendrán sus propias barreras, aquellas que se encuentren sobre la misma rama multiplicarán su PFD, según la metodología LOPA, quedando (1) en (2), tomando como ejemplo la amenaza 1:

$$\textbf{Probabilidad Ocurrencia}_{\text{amenaza 1}} = \textbf{PFD}_{\text{barrera preventiva 1}} * \textbf{PFD}_{\text{barrera preventiva 2}} \qquad \textbf{(2)}$$

Sólo a modo de ejemplo, representado en la Figura 6, podríamos proponer los valores siguientes:

$$\textbf{Probabilidad Ocurrencia}_{\text{amenaza 1}} = 0,1 * 0,01 = 0,001$$

Lo que equivale a decir que, la barrera preventiva 1 no cumplirá su función en el 10% de las veces que sea solicitada como tal y que la barrera preventiva 2 lo hará en el 1% de los casos, resultando la probabilidad de que ambas barreras fallen simultáneamente y que ocurra esa amenaza del 0,1%. Cabe recordar que cada una de las barreras son independientes y capaces de evitar la amenaza por sí solas.

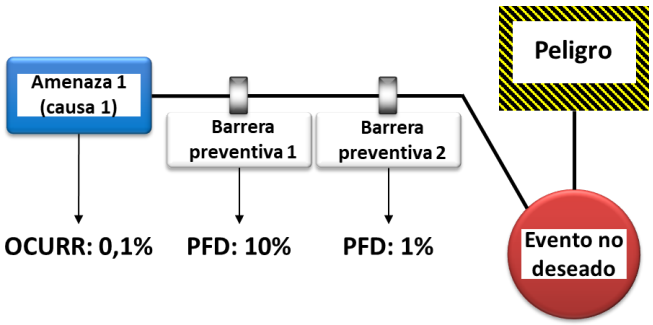


Figura 6: probabilidad de ocurrencia Amenaza 1

Del mismo modo, para las ramas de consecuencias de un Bow Tie, se pueden considerar las barreras de seguridad que intervienen para evitar o controlar las consecuencias y su cálculo de PFD se aplica a estas barreras para evaluar su efectividad. Cuanto menor sea el PFD, mayor será la confiabilidad de la barrera.

El PFD se calcula para cada barrera, considerando su diseño, mantenimiento, pruebas y otros factores.

Si el PFD es bajo (es decir, la barrera es confiable), se espera que la barrera prevenga o controle eficazmente las consecuencias.

2.4.1 Tipos de barreras

Las barreras de seguridad pueden ser físicas (como sistemas de alarma, equipos de protección) o procedimentales (como capacitación, procedimientos operativos).

Según la naturaleza de las barreras las mismas pueden ser caracterizadas según el siguiente cuadro:

Tabla 1: clasificación de barreras

NOMBRE	TIPO	DESCRIPCIÓN	DETECTA	DECIDE	ACTUA	EJEMPLO
Pasiva	Hardware pasivo	La barrera funciona en virtud de su presencia	N/A	N/A	N/A	Dique, muro de explosión, paragolpes, pintura anticorrosión
Activa	Hardware activo	Todos los elementos se ejecutan por tecnología	Tecnología (e.g.: sensor de presión)	Tecnología (e.g.: PLC)	Tecnología (e.g.: válvula de corte de emergencia)	Sistemas de control de procesos y SIS
Humana	Hardware activo + operador (predomina hardware)	La barrera es una combinación de comportamiento humano y ejecución tecnológica	Tecnología (e.g.: indicador de nivel alto + alarma)	Operador (e.g.: el operador escucha y responde a la alarma)	Tecnología (e.g.: válvula de corte de emergencia) u Operador (e.g.: manualmente cierra la válvula)	Alarma de presencia de gases y decisión del operador de evacuar
	Operador activo (predomina operador)	La barrera consiste en acciones del operador, a menudo interactuando con tecnología	Observación del operador (e.g.: fuga detectada por inspección visual)	Evaluación del operador (e.g.: el operador decide cerrar la válvula y aislar el equipamiento)	Operador – pero usando tecnología (e.g.: pulsando parada de emergencia para cierre de válvula)	Detección del operador y respuesta asociada (e.g.: inspecciones visuales)
Continua	Hardware continuo	La barrera está siempre operando	N/A	N/A	Tecnología	Sistemas de ventilación, Puesta a tierra

Fuente: (Institute, 2018)

3. EL APORTE DE OTRAS METODOLOGÍAS

La visión que se ha planteado en este trabajo de investigación es la de mejorar el Bow Tie haciendo uso de otras metodologías que complementarán la profundidad de análisis mejorando los resultados obtenidos.

Encontramos, en una primera revisión los denominados: análisis de árbol de fallos (FTA – Failure Tree Analysis) y el análisis de árbol de consecuencias (ETA – Event Tree Analysis)

3.1 Análisis de Árbol de Fallos (FTA)

El Análisis de Árbol de Fallos (Fault Tree Analysis, FTA) es una metodología deductiva utilizada para identificar y analizar los factores que pueden contribuir a un fallo específico o evento no deseado en un sistema. Fue desarrollado en la década de 1960 por Bell Telephone Laboratories para el misil Minuteman y es ampliamente utilizado en diversas industrias, especialmente en la ingeniería de sistemas y la gestión de riesgos.

Sus principios de funcionamiento son los siguientes:

1. Identificación del Evento Principal: el proceso comienza con la identificación del evento principal no deseado (top event) que se desea evitar, como una falla del sistema o un accidente.
2. Descomposición Jerárquica: Se construye un árbol de fallos donde el evento principal se coloca en la parte superior. Luego, se descompone en eventos secundarios que pueden contribuir a su ocurrencia. Esta descomposición continúa hasta llegar a las causas raíz.
3. Uso de Puertas Lógicas: Se emplean puertas lógicas como AND y OR para representar la relación entre los eventos.
    - Puerta AND: Indica que todos los eventos de entrada deben ocurrir para que ocurra el evento de salida.
    - Puerta OR: Indica que cualquier evento de entrada puede causar el evento de salida.
4. Análisis Cuantitativo y Cualitativo: Una vez construido el árbol, se pueden realizar análisis cualitativos para identificar los caminos críticos que llevan al evento principal. El análisis cuantitativo implica calcular la probabilidad de ocurrencia del evento principal basado en las probabilidades de los eventos básicos.
5. Identificación de Contramedidas: Con el análisis del árbol de fallos, se pueden identificar contramedidas y estrategias de mitigación para reducir la probabilidad del evento principal.

3.2 Análisis de Árbol de Consecuencias (ETA)

El Análisis de Árbol de Consecuencias (Event Tree Analysis, ETA) es una metodología utilizada para evaluar las posibles consecuencias de un evento inicial (trigger event) en un sistema, y cómo las diferentes secuencias de eventos posteriores pueden llevar a diferentes resultados finales. Este

enfoque es particularmente útil en el análisis de seguridad y riesgos, permitiendo a los analistas comprender cómo un evento inicial puede propagarse y las diferentes trayectorias que puede tomar.

Los principios de funcionamiento del Análisis de Árbol de Consecuencias (ETA) son los siguientes:

1. Identificación del Evento Inicial: el proceso comienza con la identificación de un evento inicial, que es el punto de partida para el análisis. Este evento puede ser un fallo, un incidente o cualquier otro evento relevante que pueda desencadenar una serie de eventos posteriores.
2. Desarrollo del Árbol de Consecuencias: A partir del evento inicial, se desarrollan las posibles secuencias de eventos que pueden ocurrir. Cada secuencia de eventos es una rama en el árbol de consecuencias.
    - Ramas del Árbol: cada rama representa una posible respuesta o resultado de un evento. Por ejemplo, si el evento inicial es un fallo en un sistema de seguridad, una rama podría representar la activación exitosa del sistema de respaldo, mientras que otra podría representar el fallo de este sistema de respaldo.
3. Uso de Probabilidades: se asignan probabilidades a cada rama para representar la probabilidad de que ocurra cada evento o respuesta. Estas probabilidades pueden basarse en datos históricos, análisis de expertos o modelos probabilísticos.
    - Eventos Condicionales: la probabilidad de un evento en una rama específica puede depender de los eventos anteriores en esa rama, lo que se conoce como probabilidad condicional.
4. Análisis de Consecuencias: se evalúan las consecuencias de cada secuencia de eventos. Esto puede incluir la estimación de daños, impactos en la seguridad, costos económicos, efectos sobre el medio ambiente, entre otros.
5. Cálculo de Probabilidades de Resultados Finales: al final de cada rama del árbol, se calcula la probabilidad de los diferentes resultados finales. Esto se logra multiplicando las probabilidades a lo largo de cada secuencia de eventos.
6. Evaluación de Mitigaciones: basado en el análisis de las consecuencias y las probabilidades de los resultados finales, se pueden identificar e implementar medidas de mitigación para reducir el riesgo o la gravedad de los resultados no deseados.

El Análisis de Árbol de Consecuencias es ampliamente utilizado en diversas industrias para evaluar riesgos y desarrollar estrategias de mitigación. Algunas aplicaciones comunes incluyen:

- Seguridad Nuclear: evaluación de la probabilidad y consecuencias de eventos que puedan afectar la seguridad de una planta nuclear.
- Industria Química: análisis de las posibles consecuencias de fugas o explosiones en plantas químicas.
- Aviación: evaluación de las secuencias de eventos que pueden llevar a accidentes aéreos y el desarrollo de estrategias de mitigación.
- Gestión de Desastres: análisis de las posibles secuencias de eventos durante desastres naturales y el desarrollo de planes de respuesta.

3.3 Análisis de Árbol de Fallos (FTA) vs. Análisis de Árbol de Consecuencias (ETA)

Por el enfoque: mientras que el FTA es un enfoque deductivo que comienza con un evento no deseado y trabaja hacia atrás para encontrar sus causas, el ETA es un enfoque inductivo que comienza con un evento inicial y trabaja hacia adelante para encontrar sus posibles consecuencias.

Por el objetivo: el del FTA es identificar las causas de fallos específicos, mientras que el objetivo del ETA es evaluar las consecuencias de un evento inicial y las diferentes secuencias de eventos que pueden ocurrir.

4. BOW TIE REVERSIONADO: COMBINANDO METODOLOGÍAS

La mayor parte de la bibliografía que detalla el proceso de gestación de un Bow Tie, por ejemplo, el “Bow ties in Risk Management – A Concept Book for Process Safety” (Institute, 2018), establece que, tanto las amenazas como las consecuencias listadas, son aquellas con interacción inmediata y directa con el evento no deseado del escenario de riesgo.

Del mismo modo, alguno de los softwares utilizados para apoyar la construcción de un Bow Tie fueron concebidos con esta misma premisa de único nivel de amenazas y consecuencias como, por ejemplo, el software BowTieXP, de la Empresa Wolters Kluwer

Sin embargo, luego de haber utilizado la herramienta Bow Tie en casos reales, principalmente en la industria siderúrgica argentina, se llega rápidamente a la conclusión que de la forma establecida no se

está aprovechando todo el potencial de análisis que la metodología permitiría si se analizaran causas o consecuencias más allá del primer nivel de impacto.

4.1 Bow Tie como combinación de árbol de fallas y árbol de consecuencias

Nuestra propuesta se basa en entender al Bow Tie como una metodología que combina el análisis de árbol de fallas con el análisis de árbol de consecuencias, correspondiendo el primero a todo lo que se relaciona a las amenazas (causas) del lado izquierdo y el segundo a la parte derecha del Bow Tie.

El objetivo está bien definido: **no limitar las amenazas (causas) y las consecuencias al primer nivel de un evento no deseado de un escenario de riesgo del Bow Tie mediante el uso del "multi–nivel" incorporando los árboles de causas y de consecuencias en el análisis de riesgo.**

Ante la aparición de nuevas causas y consecuencias que dependen de sus predecesoras, podremos incluir barreras del mismo modo que para la versión "uni–nivel". Los cálculos de PFD serán similares permitiendo, incluso, una agrupación de sub-ramas muy convenientes a la hora de establecer cuáles son las barreras que deben ser reforzadas debido a su alto nivel de PFD, o sea, de probabilidad de falla ante la demanda de actuación.

La Figura 7 es una representación gráfica de la propuesta, limitada a los 2 primeros niveles de los árboles de causas y consecuencias.

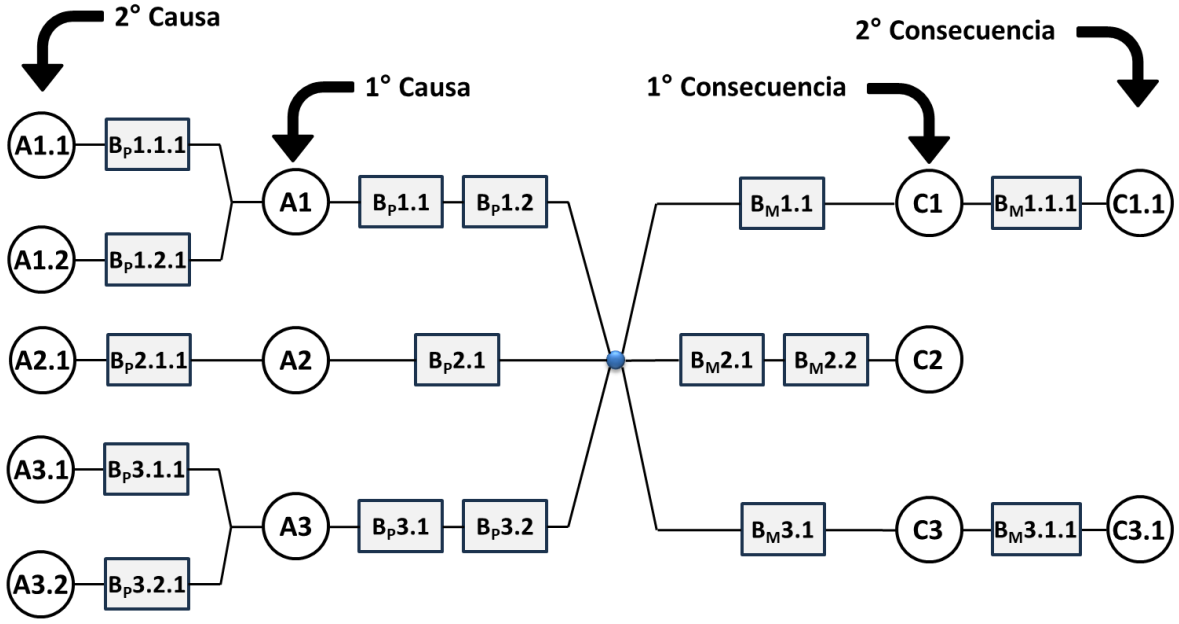


Figura 7: bow tie + árbol de causas y árbol de consecuencias

4.2 Los costos de las barreras

Queda claro que, entre los principales objetivos de la utilización de la metodología Bow Tie se encuentra la de establecer las barreras que van a prevenir o mitigar la aparición de un evento no deseado.

La implementación de cualquier tipo de barrera conlleva un costo asociado que será tan elevado como la sofisticación y la tecnología aplicada que lo conformen.

Sin embargo, consideramos que hay un aspecto fundamental que afecta al costo de las barreras: su asociación con el nivel de las causas o de las consecuencias.

Efectivamente, para el caso de las amenazas, podemos afirmar que las barreras tendrán diferentes características dependiendo de cuán "lejos" del nudo del Bow Tie se encuentren las causas a las que están asociadas. Aquellas que se asocien a causas raíz (las más alejadas del nudo del Bow Tie) serán más fáciles de implementar, menos sofisticadas porque, principalmente, están relacionadas con causas básicas de simple resolución.

De esta forma, si el PFD objetivo de la rama se obtiene con barreras ubicadas "aguas arriba", es probable que la inversión total en sistemas que aseguren los procesos sea menor a la que tendríamos si las barreras hubieran surgido de un análisis "uni–nivel", ya que la estrategia de colocación de barreras tiene más posibilidades en el análisis "multi-nivel" por la aparición de nuevas ramas donde se puede accionar con una verdadera prevención.

Del lado de las consecuencias la función de costo, en muchos casos, seguirá una lógica inversa en lo que refiere a su distancia al nudo del Bow Tie. Es de suponer que las barreras que se interponen entre el evento no deseado y las consecuencias, son de menor costo que aquellas que se colocan entre 2 consecuencias, cuando corresponde a un análisis “multi–nivel” ya que actuar sobre las “consecuencias de las consecuencias” siempre implica costos adicionales.

4.3 Aspectos adicionales a tener en cuenta

4.3.1 Softwares de creación del Bow Tie

Ya fue mencionado el producto BowTieXP de la Empresa Wolters Kluwer (Kluwer, 2024) que permite, al día de hoy, llevar a cabo un Bow Tie registrando todos los datos necesarios para una correcta confección y posterior análisis, pero carece de la posibilidad de ampliar su configuración para aceptar una versión “multi – nivel”

Esto abre una ventana de oportunidad para cualquier empresa que quiera invertir en un desarrollo que permita la incorporación del árbol de causas y del árbol de consecuencias entre sus funcionalidades.

4.3.2 Factores humanos y organizacionales: nuevo paradigma

Cuando se analizan las barreras, considerar que las intervenciones humanas son siempre fallas humanas subestima en gran medida la situación real. Erik Hollnagel, describe una visión más amplia del papel de los humanos en los sistemas de seguridad (Hollnagel, 2009). Señala que, históricamente, la seguridad se consideraba como la ausencia de incidentes o como un nivel aceptable de riesgo. Hollnagel denomina esta perspectiva Seguridad I: las cosas salen mal debido a causas técnicas, humanas y organizacionales: fallas y mal funcionamiento. En las evaluaciones de riesgos de Seguridad I, por lo tanto, se considera a los humanos predominantemente como una responsabilidad o un peligro.

Esta perspectiva no explica por qué las cosas salen bien la mayor parte del tiempo.

Hollnagel señala que los humanos ajustan su desempeño para que coincida con las condiciones. Por lo tanto, la gestión de la seguridad debe pasar de garantizar que "la menor cantidad posible de cosas salgan mal" a garantizar que "la mayor cantidad posible de cosas salgan bien".

Esta perspectiva se denomina Seguridad II y se relaciona con la capacidad del sistema para tener éxito en diversas condiciones. Esta perspectiva se puede ejemplificar con las acciones de los pilotos y controladores de tráfico aéreo que detectan y atrapan errores antes de que conduzcan a condiciones inseguras, incluidas las técnicas y habilidades de "Gestión de recursos de la tripulación" (Kanki, 2019)

Aunque no está tan bien establecido en el mundo de la seguridad de procesos industriales, este enfoque de búsqueda de sentido consciente y acción adaptativa competente se reconoce como un papel importante de los humanos en la seguridad de procesos.

Una ventaja clave de una barrera humana es que puede adaptarse a la situación de una manera que una barrera técnica no puede. Simplemente indicar el fallo humano como una amenaza o una causa de fallo de la barrera no reconoce la contribución positiva de los humanos en el sistema. Esto es particularmente cierto a medida que aumenta la complejidad del sistema y los modos de fallo se vuelven más difíciles de prever.

Hollnagel aboga por una combinación de pensamiento entre Seguridad I y Seguridad II, manteniendo las mejores partes del pensamiento convencional, pero reconociendo el papel positivo de los humanos en la adaptación a situaciones nuevas o complejas. Esto se logra generalmente enfocando los componentes del sistema de gestión que respaldan las barreras en lograr mejores resultados en lugar de solo identificar lo que podría salir mal.

4.3.3 Fallo humano como factor de degradación

El término "error humano" se ha utilizado a veces como una amenaza de la vía principal.

Sin embargo, las barreras requeridas pueden ser muy diferentes según el tipo de error humano y el contexto en el que pueda ocurrir. Por ejemplo, los controles de degradación contra un desliz (por ejemplo, gestión de la fatiga) serían diferentes a un error (por ejemplo, capacitación de actualización). El término "error humano" suele ser demasiado impreciso para ser una buena amenaza de la vía principal; debería aparecer como un factor de degradación específico que se vincula a través de la vía de degradación con una barrera de la vía principal.

Se recomienda que el fallo humano no se utilice como una amenaza de la vía principal.

5. CONCLUSIONES

La utilización de la metodología Bow Tie, de amplia difusión en la industria para un análisis pormenorizado de riesgos en los procesos, puede ser mejorada con la inclusión del árbol de fallos y del árbol de consecuencias, asociados a las amenazas y consecuencias del Bow Tie original, respectivamente.

La idea es abandonar el análisis “uni-nivel” que impone la metodología Bow Tie clásica por otro “multi-nivel”

Esto requerirá de la adaptación de nuevas herramientas informáticas, necesarias para facilitar la construcción de los Bow Tie.

Los cálculos de PFD (Probabilidad de Falla a la Demanda) se efectuarán de similar manera en la reversión “multi-nivel”

Además, en lo referente a los costos de la implementación de las denominadas barreras, consideramos que el tratamiento “multi-nivel” redundará en una mejora ya que se tendrá oportunidad de interponer barreras en más ramas permitiendo alcanzar el PFD objetivo a partir de una ubicación estratégica de las barreras.

6. REFERENCIAS

Hollnagel, E. (2009). *Barreras y prevención de accidentes.* Madrid: Modus Laborandi.

Institute, C. f. (2018). *BOW TIES IN RISK MANAGEMENT - A Concept Book for Process Safety.* New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Kanki, B. G. (2019). *Crew Resource Management.* Elsevier Academic Press.

Kluwer, W. (2024). *Wolters Kluwer N.V.* Obtenido de https://www.wolterskluwer.com/es-es/solutions/enablon/bowtie/expert-insights/barrier-based-risk-management-knowledge-base/the-bowtie-method

López, A. C. (2012). *Sistemas Instrumentados de Seguridad y análisis SIL.* Madrid: Díaz de Santos.

Safety, C. f. (2001, Second Edition). *Layer of protection analysis: simplified process risk assessment, .* 3 ParkAvenue, NY 10016-5991: American Institute of Chemical Engineers.

SOBRADO, J. -R. (2007). SISTEMAS INSTRUMENTADOS DE SEGURIDAD (SIS):CICLO DE VIDA. *Tecnología Industrial*, 261 - 268.

ESTUDIO SOBRE HÁBITOS DE MOVILIDAD Y PREFERENCIAS DE USUARIOS DE TRANSPORTE PÚBLICO DE LA CIUDAD DE PARANÁ (ENTRE RÍOS)

Jaurena, Juan Francisco; Diaz Arias, Rafael; Dorella, Jonathan; Frattin, Joaquín

Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Entre Ríos [1]
juan.juarena@uner.edu.ar; rafael.diaz@uner.edu.ar; jonathan.dorella@uner.edu.ar;
joaquinfrattin@gmail.com;

RESUMEN.

Este trabajo, desarrollado en el marco del Proyecto de Investigación y Desarrollo (PID) de la Universidad Nacional de Entre Ríos (UNER), titulado *"Modelo de Tarifación Mixta para los Sistemas de Transporte Públicos Masivos – Caso de Estudio Ciudad de Paraná"*, se centra en el análisis de los hábitos de movilidad y las preferencias de los usuarios del transporte público (TP). El objetivo principal es diseñar estrategias que optimicen la oferta del servicio y mitiguen las aglomeraciones en el sistema de transporte masivo.

A través de la realización de 971 encuestas a una muestra representativa de usuarios, se recopiló información detallada sobre el uso del TP, las motivaciones de los usuarios, la elección modal, y las preferencias horarias. Los resultados revelaron patrones en cuanto a los horarios preferidos para viajar, las principales motivaciones para utilizar el TP, el nivel de frustración al viajar en horas pico y la disposición de los usuarios a modificar sus patrones de viaje en función de variaciones tarifarias. Asimismo, se identificaron segmentos de usuarios con preferencias específicas, lo que permitirá una segmentación más efectiva en futuras estrategias de oferta y tarifación.

Los análisis estadísticos realizados sobre los datos obtenidos proporcionan insights valiosos para el diseño de un modelo tarifario mixto que capture la demanda susceptible a cambios en los hábitos de movilidad. Estos hallazgos son fundamentales para la planificación estratégica del transporte público, con el fin de mejorar la calidad del servicio, reducir aglomeraciones, y fomentar un uso más sostenible y eficiente del sistema.

Palabras Claves: Transporte Publico, Usuarios, Preferencias Declaradas, Hábitos, Encuestas.

ABSTRACT.

This study, conducted as part of the UNER Research and Development Project (PID) titled "Mixed Fare Model for Mass Public Transport Systems – Case Study of the City of Paraná," focuses on analyzing mobility habits and user preferences in public transport (PT). The primary objective is to design strategies that optimize service offerings and mitigate overcrowding in the mass transport system.

A total of 971 surveys were conducted with a representative sample of users, gathering detailed information on PT usage, user motivations, mode choices, and preferred travel times. The results revealed patterns regarding preferred travel times, the main motivations for using PT, levels of frustration when traveling during peak hours, and users' willingness to modify their travel patterns based on fare variations. Additionally, specific user segments with distinct preferences were identified, enabling more effective segmentation in future fare and service strategies.

The statistical analyses applied to the collected data provide valuable insights for designing a mixed fare model that captures demand sensitive to changes in mobility habits. These findings are essential for strategic public transport planning, aiming to improve service quality, reduce overcrowding, and promote a more sustainable and efficient use of the transport system.

Keywords: 5 keywords must be selected to correctly identify the work.

1. INTRODUCCIÓN.

El transporte público es un sistema esencial para la movilidad urbana, particularmente en ciudades donde las aglomeraciones y la densidad poblacional hacen insostenible el uso de vehículos privados. La gestión eficiente del transporte público no solo mejora la calidad de vida de los ciudadanos, sino que también desempeña un papel crucial en la reducción de la congestión vehicular, las emisiones contaminantes y la inequidad en el acceso a oportunidades laborales y educativas (Gwilliam, 2008; Litman, 2011; Albalate & Fageda, 2019). En este contexto, las autoridades de transporte se enfrentan a desafíos comunes en la planificación y gestión de los sistemas de Transporte Público (TP), tales como promover el uso del TP para disminuir el uso de vehículos particulares, reducir la congestión vial, la contaminación ambiental y la siniestralidad vial, mejorar la satisfacción del usuario y la calidad de los servicios, y garantizar que el servicio esté disponible para grupos desfavorecidos o vulnerables (Bigas, Zamorano, & Sastre, 2007; Broaddus, Litman, & Menon, 2009; Börjesson & Eliasson, 2014).

En la ciudad de Paraná, la creciente demanda de movilidad, impulsada tanto por su propio crecimiento demográfico como por el de las ciudades vecinas que conforman una mancha urbana continua, ha generado desafíos significativos, especialmente en términos de aglomeración de usuarios durante las horas pico y la necesidad de mejorar la experiencia del usuario. La movilidad urbana se caracteriza por grandes variaciones temporales y espaciales en los patrones de viaje, lo que ocasiona picos de demanda conocidos como Hora Pico (HP). Los sistemas de TP, a menudo, no logran adaptarse eficazmente a estas fluctuaciones, resultando en saturaciones, frustraciones, y pérdidas de tiempo, lo que disminuye la satisfacción del usuario y contradice los objetivos de promoción de los sistemas de transporte masivo (Cantwell, Caulfield, & O'Mahony, 2009; De Palma & Lindsey, 2011; Cheng, Chang, & Lu, 2015).

Este trabajo se enmarca en un Proyecto de Investigación y Desarrollo (PID) de la Universidad Nacional de Entre Ríos (UNER), que propone el diseño de un Modelo de Tarifación Mixta para los Sistemas de Transporte Públicos Masivos. Este modelo busca optimizar la oferta de servicios mediante una estructura tarifaria más flexible y orientada a la demanda. El presente estudio, como parte de dicho proyecto, tiene como objetivo principal analizar los hábitos de movilidad y las preferencias de los usuarios del transporte público en Paraná. A través de 971 encuestas realizadas a una muestra representativa, se recopiló información detallada sobre el uso del transporte público, las motivaciones para elegir este medio, las preferencias horarias y la disposición de los usuarios a modificar sus patrones de viaje en función de variaciones tarifarias. Los resultados de este estudio de campo proporcionan conocimientos valiosos para el diseño de un modelo tarifario que no solo gestione las aglomeraciones en horas pico, sino que también incentive un uso más eficiente y sostenible del sistema de transporte.

2. MATERIALES Y MÉTODOS.

El objetivo principal de este estudio fue analizar los hábitos de movilidad y las preferencias de los usuarios del transporte público en la ciudad de Paraná, con el propósito de diseñar estrategias que optimicen la oferta de servicios y reduzcan las aglomeraciones mediante la implementación de un nuevo modelo tarifario. Adicionalmente, se buscó identificar segmentos específicos de usuarios cuyas preferencias podrían guiar la planificación y gestión del transporte público de manera más eficiente.

Para lograr estos objetivos, se llevó a cabo un estudio basado en encuestas, utilizando un cuestionario estructurado que incluyó preguntas sobre el uso del transporte público, las motivaciones para la elección del modo de transporte, las preferencias horarias, los niveles de frustración durante las horas pico y la disposición a modificar los patrones de viaje en función de variaciones tarifarias.
En relación con la población utilizada para establecer la muestra, un trabajo previo (Jaurena, 2023) determinó que la población objetivo estaba constituida por los usuarios que utilizan el servicio durante las horas pico. Este estudio identificó, mediante el sistema SUBE, que el promedio diario de tarjetas activas en esos periodos era de 82084, de las cuales el 56.5% correspondía a tarjetas que participaban en tres o más horas pico. Con base en estos datos, se estableció que la muestra debía calcularse considerando un total de 46378 usuarios. Al final, se obtuvo una muestra real de 971 encuestas a usuarios del transporte público en Paraná mediante un muestreo aleatorio estratificado. Este tamaño muestral alcanzó un nivel de confianza del 95% con un margen de error aproximado de ±3.1%, lo cual es adecuado para una población considerada infinita. Este tamaño muestral permite capturar de manera precisa la variabilidad en los hábitos y preferencias de los usuarios del transporte público, garantizando que los resultados obtenidos sean representativos de la población general de Paraná.

Las encuestas se realizaron en el mes de noviembre de 2023. Para garantizar la calidad de los datos, las encuestas se llevaron a cabo de manera presencial, interceptando a los usuarios en paradas de transporte público de alta afluencia en la zona del macrocentro de la ciudad.

Las encuestas en papel fueron posteriormente procesadas para su análisis utilizando herramientas estadísticas. Posteriormente, se realizaron análisis descriptivos y pruebas de hipótesis para identificar patrones significativos en el comportamiento y las preferencias de los usuarios.

Los resultados se presentaron en forma de tablas y gráficos para facilitar su interpretación. Además, se realizaron segmentaciones de la muestra basadas en variables demográficas y de comportamiento, con el fin de identificar perfiles específicos de usuarios que puedan ser objetivo de futuras estrategias de tarifación y planificación del transporte.

3. RESULTADOS.

3.1 Distribución Demográfica y motivo de uso del Transporte Público

La distribución por franja etaria de los 971 usuarios encuestados muestra que el grupo más numeroso corresponde a personas de 19 a 35 años, representando casi el 40% de la muestra. Le siguen en proporción las personas de 36 a 55 años, que constituyen aproximadamente el 25% de los encuestados. Por otro lado, las personas menores de 18 años conforman el 22% de la muestra, mientras que los mayores de 56 años representan cerca del 13%. El promedio ponderado por la cantidad de encuestados según la franja etaria es de 33.3 años. Además, se observó una marcada disparidad de género, con un 70.1% de las personas encuestadas identificándose como mujeres y un 29.9% como hombres. Este predominio femenino en la muestra refleja patrones específicos de uso del transporte público entre las mujeres, ya evidenciados en estudios previos realizados en la ciudad de Paraná, lo que constituye un factor relevante para el diseño de estrategias que integren perspectivas de género.

En cuanto a las ocupaciones principales, se observó que los trabajadores remunerados por cuenta ajena constituyen el 34% de la muestra, seguidos muy de cerca por los estudiantes, que representan el 33.5%. Los trabajadores por cuenta propia también tuvieron una presencia significativa, alcanzando un 18.9% (Figura 1).

Respecto a los motivos principales de utilización del transporte público (Figura 2), los resultados destacan que el principal motivo de uso es "Trabajo", representando el 47.3% de los encuestados. Esto sugiere que una gran parte de los usuarios depende del transporte público para sus desplazamientos laborales diarios. El segundo motivo más común es el "Estudio", con un 32.8% de los usuarios, lo que indica que una porción significativa de la población estudiantil también depende del transporte público para llegar a las instituciones educativas, posiblemente incentivada por los beneficios de descuento que ofrece el servicio para este perfil de usuarios.

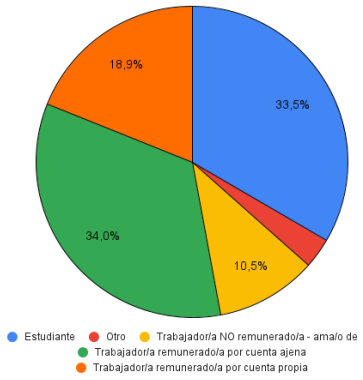


Figura 1 – Distribución de ocupaciones principales

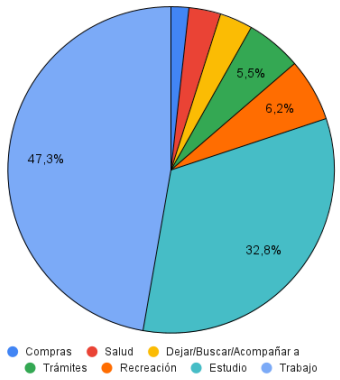


Figura 2 – Motivos de uso del TP

3.2 Conocimiento de los horarios pico

Los encuestados fueron indagados sobre su nivel de conocimiento de los horarios pico en el servicio, como se observa en la Tabla 1, donde se desglosa el conocimiento de los horarios pico del TP según la frecuencia semanal de uso del mismo, evaluada en una escala de 1 a 5, donde 1 representa un conocimiento nulo y 5 un conocimiento amplio. La tabla incluye el total de las encuestas, mostrando

cómo la familiaridad con los horarios de mayor demanda varía en función de cuántas veces por semana los usuarios utilizan el TP. El análisis de los resultados muestra que el 47% de los usuarios del TP tiene un amplio conocimiento de los horarios pico, con una concentración especialmente alta entre aquellos que utilizan el servicio con mayor frecuencia. Los usuarios que viajan cinco veces por semana presentan un 72% de conocimiento moderado a alto sobre estos horarios, mientras que aquellos que lo usan diariamente muestran un 60% con un elevado conocimiento. Por otro lado, los usuarios menos frecuentes, como aquellos que utilizan el transporte solo una vez por semana, revelan un 22% con poco o ningún conocimiento de los horarios pico. Estos hallazgos sugieren una relación directa entre la frecuencia de uso y la familiaridad con los momentos de mayor demanda.

Tabla 1 – Conocimiento de los horarios pico por parte de los usuarios

¿En qué medida conoce los horarios pico?						
Frecuencia de uso semanal del TP	**Frec. por escala de valoración del conocimiento**					
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**Total**
1	17	9	13	10	27	76
2	16	2	15	16	23	72
3	11	7	22	8	35	83
4	14	7	14	3	27	65
5	60	24	66	72	178	400
6	13	-	6	8	41	68
7	10	8	24	41	124	207
Total	141	57	160	158	455	971

3.3 Frustración al Viajar en Horas Pico

Uno de los hallazgos más relevantes al consultar a los usuarios sobre los niveles de frustración experimentados al utilizar el transporte público durante las horas pico es el elevado grado de insatisfacción reportado. Como se ilustra en la Figura 3, aproximadamente el 50.3% de los usuarios se siente "muy frustrado", mientras que cerca del 14.5% se declara "frustrado". Esto indica que más del 60% de los encuestados experimenta altos niveles de insatisfacción durante los períodos de máxima demanda. Solo una minoría, alrededor del 15%, se siente "satisfecha" o "muy satisfecha". Estos datos subrayan la necesidad urgente de implementar medidas que reduzcan la aglomeración de usuarios en los períodos de mayor demanda. La satisfacción del usuario es esencial para la sostenibilidad del sistema de transporte público y debe ser prioritaria en el diseño de estrategias de mejora.

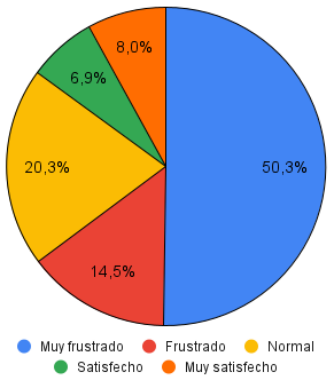


Figura 3 – Percepción de la frustración hacia el uso del TP

3.4 Uso de tarjetas SUBE, descuentos y usuarios frecuentes

El análisis de los datos muestra que la mayoría de los encuestados posee una única tarjeta SUBE para viajar (Figura 4), y que un 62.2% de los usuarios recibe algún tipo de descuento en su tarifa de transporte (Figura 5), mientras que el 37.8% restante no cuenta con beneficios. Dado que uno de los objetivos principales del estudio es identificar usuarios dispuestos a modificar sus patrones de movilidad en función de la oferta de nuevos beneficios, el interés se centra en aquellos que no reciben descuentos y son usuarios frecuentes, es decir, que utilizan el transporte público cinco o más veces por semana.

Entre los individuos sin descuentos, un 17.8% manifestó estar dispuesto a cambiar su horario de viaje si se les ofrecieran incentivos económicos o mejoras en el servicio, como un aumento en la frecuencia de viajes durante las horas valle. Al cruzar la variable de frecuencia de uso del transporte público con la disposición a cambiar horarios, se encontró que un 11.0% de los usuarios frecuentes sin beneficios consideraría ajustar sus patrones de movilidad fuera de los horarios pico si se les ofreciera un incentivo. Estos hallazgos son prometedores y podrían guiar futuras estrategias para redistribuir la demanda de manera más equitativa a lo largo del día.

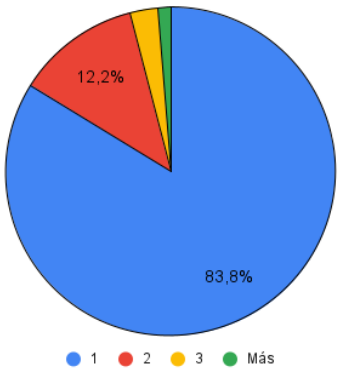


Figura 4 – Cantidad de Tarjetas SUBE en uso por persona

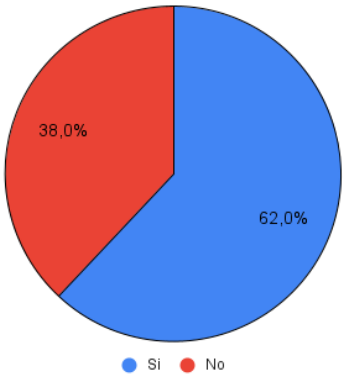


Figura 5 – % de usuarios con descuentos aplicados a sus tarjetas

3.5 Relación entre Ocupación y Disposición a Cambiar Horarios

El análisis de la relación entre la ocupación principal de los encuestados y su disposición a cambiar los patrones de viaje mediante un test chi-cuadrado reveló que existe una relación significativa entre ambas variables (Tabla 2). Aunque el valor de chi-cuadrado sugiere que la disposición a cambiar varía según la ocupación, la asociación es relativamente débil, como lo indica el valor bajo de la V de Cramer en las columnas de frecuencias esperadas de la Tabla 2.

Tabla 2 – Relación ocupación / Cambiar patrón de viaje

Ocupación principal	Contingencia		Frecuencias esperadas	
	Cambiar patrón de viaje NO	Cambiar patrón de viaje SI	Cambiar patrón de viaje NO	Cambiar patrón de viaje SI
Estudiante	26	32	30.66	27.34
Otro	4	5	4.76	4.24
Trabajador/a NO remunerado/a - ama/o de casa	22	19	21.67	19.33
Trabajador/a NO remunerado/a - ama/o de casa, Estudiante	0	1	0.53	0.47
Trabajador/a remunerado/a por cuenta propia	87	68	81.93	73.07
Trabajador/a remunerado/a por cuenta ajena, Estudiante	3	3	3.17	2.83
Trabajador/a remunerado/a por cuenta propia	47	41	49.39	38.6
Trabajador/a remunerado/a por cuenta propia, Estudiante	4	5	4.76	4.24

Por otro lado, se encontró también una relación significativa entre la ocupación principal y ser beneficiario de descuentos en las tarifas (Tabla 3), aunque, al igual que en el análisis anterior, la fuerza de la asociación fue baja. Estos resultados indican que, si bien existen diferencias en la disposición a cambiar patrones de viaje y en la recepción de descuentos según la ocupación, estas no son lo

suficientemente fuertes como para dictar políticas diferenciadas basadas en la ocupación de los usuarios.

Tabla 3 – Relación ocupación / Beneficiario de descuento

Ocupación principal	Contingencia		Frecuencias esperadas	
	Descuento No	Descuento Si	Descuento No	Descuento Si
Estudiante	58	267	122.08	202.16
Otro	9	21	11.33	18.66
Trabajador/a NO remunerado/a - ama/o de casa	41	59	37.79	62.2
Trabajador/a NO remunerado/a - ama/o de casa, Estudiante	1	1	0.75	1.24
Trabajador/a remunerado/a por cuenta ajena	155	153	116.41	191.58
Trabajador/a remunerado/a por cuenta ajena, Estudiante	6	16	8.31	13.61
Trabajador/a remunerado/a por cuenta propia	88	70	59.71	98.28
Trabajador/a remunerado/a por cuenta propia, Estudiante	9	14	8.69	14.3
Trabajador/a remunerado/a por cuenta propia, otros	0	3	1	1.86

3.6 Preferencias de los Usuarios sobre posibles beneficios

La encuesta consignaba una serie de posibles beneficios a los cuales los encuestados consignaban su mayor o menor acuerdo tendiente a hacer más atractivo el cambio de su patrón de movilidad como ser: abonos más baratos para usuarios frecuentes, descuentos por viajar en horarios fuera de pico y mayor frecuencia en horas valle. Los resultados arrojaron que las tres opciones presentadas recibieron niveles similares de aceptación lo que sugiere que cualquier intervención podría ser igualmente efectiva si se comunica adecuadamente y se implementa de manera coherente (Figura 6).

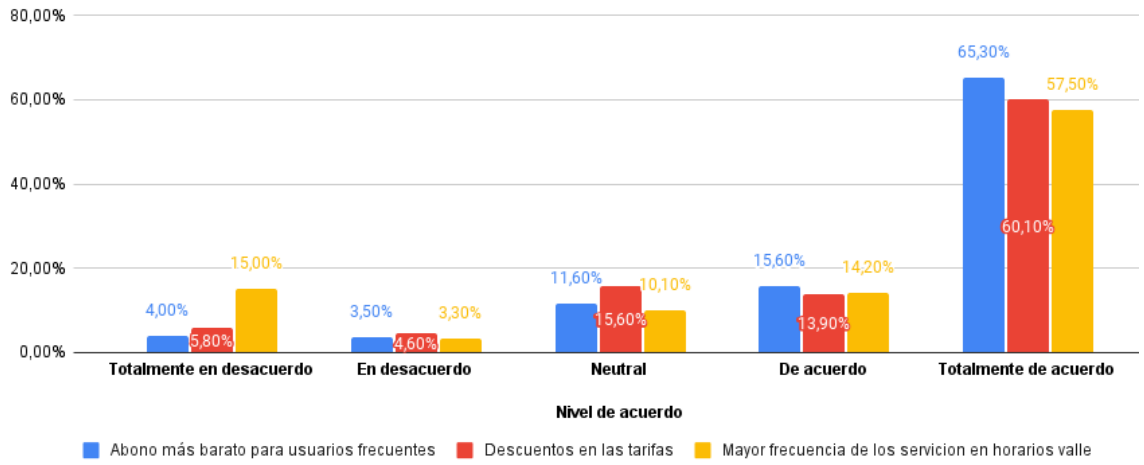


Figura 6 - Preferencias de los Usuarios sobre posibles beneficios

4. DISCUSIÓN.

Los resultados de este estudio proporcionan un valioso entendimiento sobre los hábitos de movilidad y las preferencias de los usuarios del transporte público en la ciudad de Paraná, con un significativo potencial para la planificación y gestión del sistema. Uno de los hallazgos más relevantes es el alto nivel de frustración que experimentan los usuarios durante las horas pico, lo cual evidencia una problemática crítica que debe ser abordada para mejorar la satisfacción del usuario, ya que más del 60% de los encuestados reporta sentir altos niveles de frustración. La reducción de esta saturación podría lograrse mediante la introducción de tarifas diferenciadas, incentivos para viajar en horarios menos congestionados, o mejoras en la frecuencia y capacidad de los servicios durante las horas pico.

Otro aspecto destacado es la relación directa entre la frecuencia de uso del transporte público y el conocimiento de los horarios pico. Los usuarios más regulares demuestran un mayor entendimiento de estos horarios, lo que sugiere que quienes utilizan el transporte de manera esporádica requieren políticas informativas más eficientes. Estas políticas aumentarían la conciencia sobre los horarios de menor congestión, lo que no solo mejoraría la experiencia de estos usuarios, sino que también contribuiría a una distribución más equilibrada de la demanda a lo largo del día.

Además, la segmentación de los usuarios según sus motivos para utilizar el transporte público revela la diversidad de necesidades dentro de la población usuaria. Dado que la mayoría de los desplazamientos están vinculados a motivos laborales (47.3%), se destaca la importancia de mantener un servicio confiable y eficiente durante las horas pico de la mañana y la tarde. Sin embargo, un porcentaje significativo de usuarios utiliza el transporte para estudiar (32.8%) y realizar trámites (5.5%), lo que indica que las políticas tarifarias y de gestión del servicio deben considerar un amplio espectro de motivaciones para garantizar un sistema accesible y conveniente para todos los segmentos de la población.

La disposición de los usuarios a modificar sus patrones de viaje en función de variaciones tarifarias es otro punto crítico. Los resultados sugieren que existe un potencial significativo para implementar un modelo tarifario mixto que no solo mejore la distribución de la demanda, sino que también incremente la eficiencia del sistema. Se estima que más del 11% de los usuarios encuestados cumplen con un perfil susceptible de ser captado por este tipo de modelo. En una ciudad como Paraná, donde la hora pico puede representar una demanda de hasta 10000 usuarios/hora, la posibilidad de que al menos 1200 usuarios decidan cambiar su patrón de viaje para evitar la hora pico podría traducirse en una descongestión equivalente a 18 buses llenos de usuarios, o un 13% de la flota que actualmente sirve a la ciudad. Este tipo de medidas podría tener un impacto sustancial en la mejora de la calidad del servicio, la reducción de la congestión y, en última instancia, en la sostenibilidad del sistema de transporte público.

5. CONCLUSIONES.

Este estudio, desarrollado en el marco del proyecto PID UNER "Modelo de Tarifación Mixta para los Sistemas de Transporte Públicos Masivos – Caso de Estudio Ciudad de Paraná", ha logrado cumplir con el objetivo de ser un paso fundamental para comprender los hábitos de movilidad y las preferencias de los usuarios del transporte público (TP) en la ciudad de Paraná. A través del análisis de 971 encuestas, se han identificado patrones clave que influyen en la experiencia y satisfacción de los usuarios, proporcionando una base sólida para avanzar en la formulación de políticas y estrategias que optimicen el servicio de transporte público, conforme a los objetivos propuestos en el PID.

Además, los resultados obtenidos subrayan la importancia de considerar las necesidades y comportamientos específicos de distintos segmentos de la población al diseñar intervenciones en el sistema de TP. Esto no solo permite mejorar la eficiencia y sostenibilidad del sistema, sino también asegurar una mayor equidad en el acceso y calidad del servicio para todos los usuarios. Los hallazgos de este estudio también abren la puerta a futuras investigaciones que puedan profundizar en las dinámicas de movilidad urbana y explorar nuevas soluciones que respondan a las demandas emergentes de la población.

6. REFERENCIAS.

Bigas, J. M., Zamorano, C., & Sastre, J. (2007). **Transporte público y espacio urbano: un manual para el diseño**. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (Www.Ciccp.Es), 1–10.

Gwilliam, K. (2008). **A Review of Issues in Transit Economics**. *Journal of Transport Economics and Policy*, 42(2), 1-26.

Broaddus, A., Litman, T. A., & Menon, G. (2009). **Transportation Demand Management: Training Document**. *Transportation in the New Millennium*, April, 1–118.

Cantwell, M., Caulfield, B., & O'Mahony, M. (2009). **Examining the Factors that Impact Public Transport Commuting Satisfaction**. *Journal of Public Transportation*, 12(2), 1–21.

De Palma, A., & Lindsey, R. (2011). **Traffic congestion pricing methodologies and technologies**. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19(6), 1377–1399.

Litman, T. (2011). **Evaluación de los beneficios y costos del transporte público**. *Victoria Transport Policy Institute*, 65.

Börjesson, M., & Eliasson, J. (2014). **Experiences from the Swedish Value of Time study**. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 59, 144–158.

Cheng, Y. H., Chang, Y. H., & Lu, I. J. (2015). **Urban transportation energy and carbon dioxide emission reduction strategies**. *Applied Energy*, 157, 953–973.

Albalate, D., & Fageda, X. (2019). **Congestion, Road Safety, and the Effectiveness of Public Policies in Urban Areas**. *Sustainability*, 11(18), 5092.

Jaurena, J. F., Díaz Arias, R., Elías, W., & Lambarri, J. (2023). **Evaluación de la relación oferta-demanda en el sistema de transporte público de Paraná: Enfoque en la optimización y sostenibilidad de la movilidad**. *XVI COINI 2023 – Congreso Internacional de Ingeniería Industrial – AACINI - UTN FRSN*.

"RECICLAJE DE PLÁSTICOS Y ALUMINIO: TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA Y SU IMPACTO SOCIAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE A UNA COOPERATIVA"

Barrera, Sebastían; Miracca, Leandro; Solari, Santiago; Fortín, Gastón; Sánchez Granel, Rosario

Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica Argentina
sbarrera@uca.edu.ar

RESUMEN

En las últimas décadas, el uso de plásticos y la cantidad de residuos generados han aumentado de manera desmesurada generando preocupación en muchos países sobre el impacto ambiental a las nuevas generaciones. Los plásticos de un solo uso, sobre todo, han estado bajo la lupa de investigadores que buscan otras alternativas de material que sean menos contaminantes para el ambiente, dado que su destino final muchas veces son alcantarillas, cloacas y cuerpos de agua, dañando los sistemas sanitarios de las ciudades y contaminando. Uno de los mayores problemas radica en la falta de políticas de reciclaje lo que conlleva, en el mejor de los casos, a la saturación de los rellenos sanitarios. Por esta preocupación surge la iniciativa en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica Argentina de proporcionar una formación práctica integral a estudiantes de ingeniería industrial y ambiental, fomentando el trabajo interdisciplinario entre carreras, a través de la fabricación de nuevos productos a partir del reciclado de residuos plásticos para su posterior transferencia a una cooperativa de recicladores urbanos.

Palabras claves: Reciclado- Residuos- Plásticos- Estudiantes- Recicladores Urbanos

ABSTRACT

In recent decades, the use of plastics and the amount of waste generated have increased dramatically, raising concerns in many countries about the environmental impact on future generations. Single-use plastics, in particular, have come under scrutiny by researchers seeking alternative materials that are less harmful to the environment, as their final destination is often sewers, drains, and bodies of water, damaging urban sanitation systems and causing pollution. One of the major issues lies in the lack of recycling policies, which, in the best cases, leads to the saturation of landfills. In response to this concern, the School of Engineering at the Pontifical Catholic University of Argentina launched an initiative to provide comprehensive practical training to industrial and environmental engineering students, promoting interdisciplinary collaboration among different fields through the creation of new products made from recycled plastic waste, which will subsequently be transferred to an urban recyclers' cooperative.

Keywords: Recycling - Waste - Plastics - Students - Urban Recyclers

1.INTRODUCCIÓN

Este trabajo se desarrolló en el ámbito de la Universidad Católica Argentina en el Laboratorio de Termodinámica y Máquinas Térmicas, y el Laboratorio de Materiales y Mecánica de Suelos pertenecientes a la Facultad de Ingeniería, donde participan 5 alumnos de las carreras Ingeniería Industrial y Ambiental, que trabajan como pasantes, y alumnos que están realizando su trabajo final de carrera, dirigidos por dos profesores de la Facultad.

La generación y reciclado de plásticos ha sido un tema de discusión en muchas ciudades del mundo debido a los problemas que se generan tanto en los rellenos sanitarios como en los cuerpos de agua que suelen ser receptores de estos residuos. La aparición de los recicladores urbanos en la Ciudad de Buenos Aires y posteriormente las políticas de separación y reciclaje de residuos han generado conciencia en la ciudadanía a la hora de generar residuos (Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2021).

La motivación de este trabajo surge de la necesidad de poder generar productos a partir de plásticos y chatarra de aluminio proporcionados por una cooperativa, en particular poder darle un valor agregado a los residuos que son recolectados por los recicladores urbanos de la cooperativa Recuperadores Urbanos del Oeste, RUO (Recuperadores Urbanos del Oeste,2024). Dicha tecnología es previamente ensayada en el laboratorio por estudiantes de las carreras de Ingenierías Industrial y Ambiental, y transferida a la cooperativa para la posterior producción. Este trabajo entonces combina la formación práctica para el desarrollo de estas tecnologías atravesado por una veta ambiental y social.

2. DESARROLLO

A partir de conocer el trabajo de la cooperativa RUO en el barrio de Caballito se identificó la necesidad de que los recicladores pudiesen generar algún producto en la cooperativa con los residuos plásticos que obtenían, cuyo actual destino es la venta enfardado a distintas empresas. De esa manera se obtendría un doble beneficio, de la venta propia del plástico a la empresa y de la venta de un producto final realizado en la cooperativa y por los propios recicladores a partir de la materia prima recolectada.

Para desarrollar el producto, se tuvieron en cuenta opciones con una matriz simple y atractiva para futuros clientes de la cooperativa. Entre ellos se pensó en la elaboración de perchas, jaboneras, soportes para notebook, portacelulares o macetas, siendo estos dos últimos los seleccionados para crear. Según Callister (2020), el diseño de productos plásticos debe considerar tanto la funcionalidad como la estética, lo que implica una selección cuidadosa de los materiales y procesos de fabricación adecuados. Esta visión se alineó con el enfoque práctico de la cooperativa, que busca no solo la eficiencia en la producción, sino también la integración de valores ambientales y sociales a través de productos útiles y atractivos para los consumidores.

2.1 Inyectora

La inyectora fue desarrollada por alumnos en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica Argentina en el mismo marco de este proyecto, a partir de un taladro de banco en desuso. Se ideó y desarrolló una máquina inyectora manual, la cual consiste en un cilindro y pistón hidráulico, calefaccionado por tres resistencias tipo zunchos, controladas por una unidad de control y termocupla.

Este tipo de máquinas, de bajo costo y producción limitada, se inspira en modelos accesibles para fabricación artesanal de inyectores, como los descritos en Precious Plastic (2024), los cuales proporcionan una solución viable para la creación de productos plásticos reciclados mediante inyección. Además, el proceso general de fabricación de polímeros, del que forma parte este tipo de maquinaria, es ampliamente abordado por Groover (2014).

La inyectora fue desarrollada por alumnos en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica

Se mecanizó la estructura de acero que se iba a utilizar como contenedor y luego se ensambló lo que iba a ser el pistón de la inyectora. Una vez realizado, se le hizo una abertura al cilindro por el cual se iban a insertar los plásticos. Finalmente se adquirieron 3 resistencias en forma de anillo para poder regular la temperatura del cilindro. Una vez realizada la parte mecánica, se continuó con la eléctrica.

Se conectaron las 3 resistencias a un tablero y se agregó una termocupla que permita medir y regular la temperatura. Se realizó el esquema del circuito eléctrico que luego se concretó.

El paso siguiente para poder inyectar piezas fue la realización de un molde, el cual fue diseñado para fabricar probetas destinadas a un ensayo de tracción, el cual permite evaluar la resistencia mecánica de los materiales. Ver Figura (1), Figura (2) y Figura (3)



Figura 1 Estructura de un taladro de columna



Figura 2 Elementos para la fabricación de la inyectora

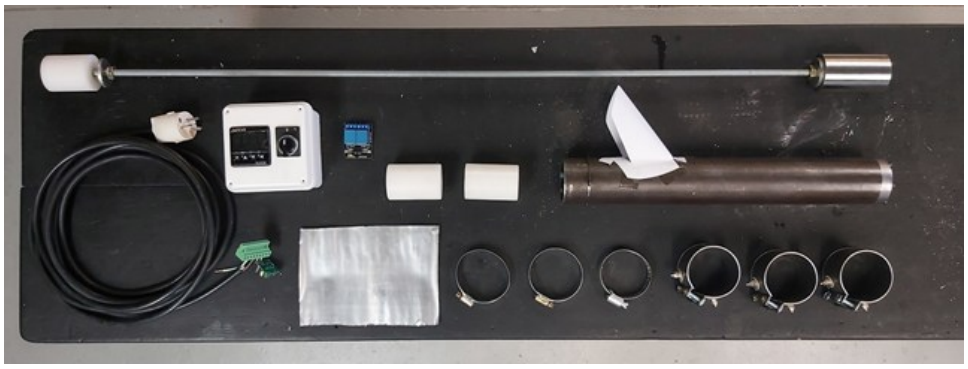


Figura 3 Inyectora finalizada, con molde y controladores de temperatura en funcionamiento

2.2 Matricería

2.2.1 Portacelulares

Se eligió el portacelulares como un objeto que trae un beneficio ergonómico en una época donde el trabajo híbrido y/o remoto son muy comunes, lo cual lo vuelve atractivo.

Para la elaboración de la matriz se un grupo de alumnos se puso a pensar y comparar distintos diseños existentes, para ir evaluando los mejores diseños, los más prácticos, que al mismo tiempo que cumpliera con la estética también sean factibles de realizar mediante el proceso de inyección. Una vez que se cumplió esta primera etapa, se hizo el diseño en CAD y se fabricó en madera con un router CNC algunas variantes para tener modelos y evaluar su funcionalidad, para luego elegir el mejor modelo.

Finalmente se mecanizó en planchuelas de aluminio mediante el router CNC, donde previamente se realizó la simulación en el software 3D FUSION.

El mecanizado del molde comprende una primera etapa en el router para elaborar el contorno y leyendas, combinado con una fresadora convencional para realizar el desbaste. La terminación de estos moldes comprende los canales de salida de aire y alojamiento de la termorresistencia. El acabado superficial, para una mejor terminación de la pieza se realizó manualmente mediante papeles de lija. Ver Figura (4) y Figura (5).

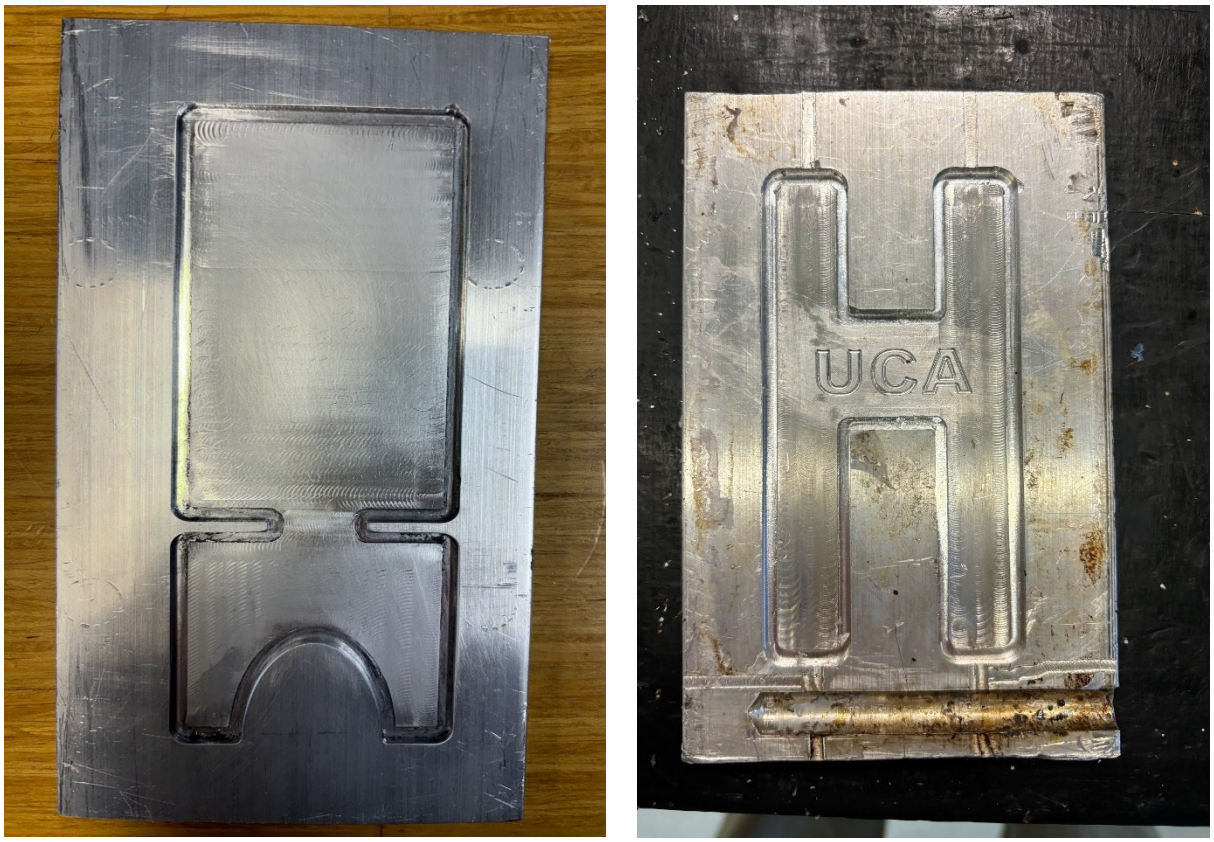


Figura 4 y 5: Matriz portacelular

2.2.2 Macetas

Se eligió la elaboración de macetas, a pedido de la propia cooperativa ya que cuentan con un compost y una huerta orgánica, produciendo y vendiendo plantines a los vecinos. Fabricar macetas con plástico reciclado les permitiría ofrecer sus productos en recipientes también producidos por ellos mismos, fortaleciendo su proyecto sustentable.

Para el desarrollo de la matriz se evaluaron distintos tipos de maceta con diversos diámetros y al igual que con el portacelular, se buscó un diseño que cumpliese tanto con la parte estética como la practicidad para poder ser inyectado.

Se realizaron modelos en Solid Edge y luego se imprimieron en una impresora 3D para evaluar la funcionalidad y de esa manera poder diseñar la matriz. Finalmente se escogió una maceta de 9 cm de diámetro, la cual fue impresa y es donde se basó la matriz de aluminio. El material que se utilizó para realizar esta matriz es aluminio de fundición que fue recolectado por los mismos recicladores de la cooperativa.

Una vez terminada esta etapa, se procede a la elaboración de la matriz a partir de aluminio reciclado. Primero se prepara la arena verde (77% arena fina, 22% bentonita y el restante de agua pulverizada) y se deja reposar 24hs. Luego se coloca el molde en una batea, se coloca la arena y se compacta. Se repite la secuencia hasta cubrir el molde con arena. Luego, se da vuelta la batea y se quita cuidadosamente el modelo impreso en 3D. Finalmente, se funde el aluminio hasta una temperatura de 800°C, se quita la escoria y se vierte con el método de cuchareo.

Una vez realizada la pieza es mecanizada para poder ser utilizada en la inyectora

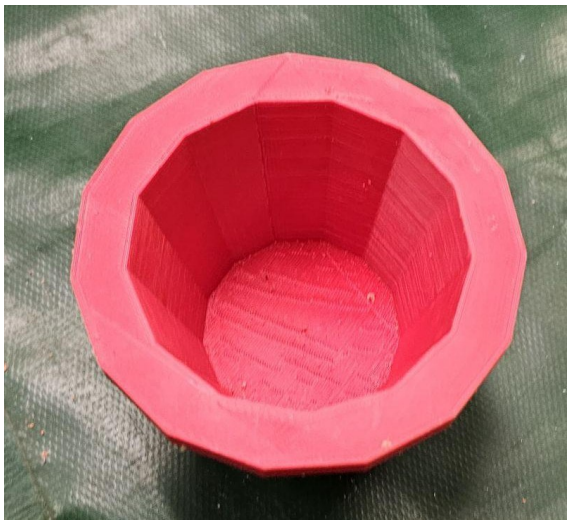



Figura 6 y 7: Molde de impresora 3D y elaboración de la matriz

2.3 Ensayos y análisis sobre los materiales

La mayoría de los plásticos corresponden a residuos de tapitas de bebidas o envases de champú o acondicionador de polietileno. Luego de varios ensayos se verificó que para generar una mayor homogeneidad en el material los plásticos deben estar limpios de todos los residuos que pudiesen contener. Los plásticos son segregados según el color y el tipo y luego son triturados en una trituradora de plástico hasta obtener escamas.




Figura 8 y 9 Plástico en escamas

Para evaluar la propiedad de resistencia mecánica del material y optimizar el proceso, se fabricó un molde para inyección de probeta destinadas al ensayo de tracción, conforme los lineamientos de la norma ASTM D638 (equivalente a la norma nacional IRAM 13316).

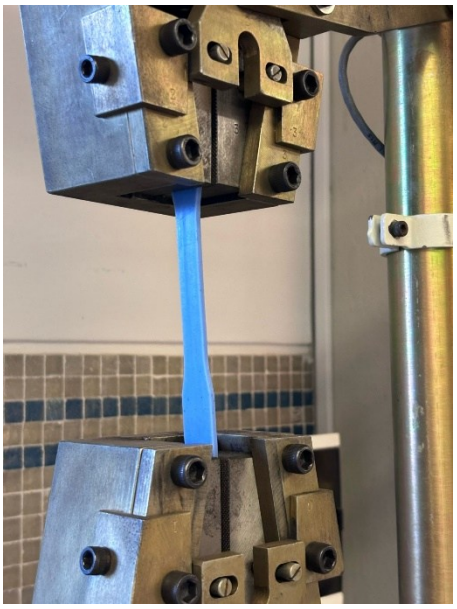


Figura 10 Ensayo de tracción

A partir de dicho ensayo se obtuvo la siguiente tabla y gráficos donde se pudieron sacar conclusiones.

Tabla 1: Ensayo de tracción de Probetas

Probeta	Material	Deformación [%]	Tensión [MPa]
Verde 1	PEAD	27,71	14,81
Celeste	PEAD	25,79	26,79
Verde 2	PEAD	26,64	16,67
Roja	PEAD	18,29	18,02

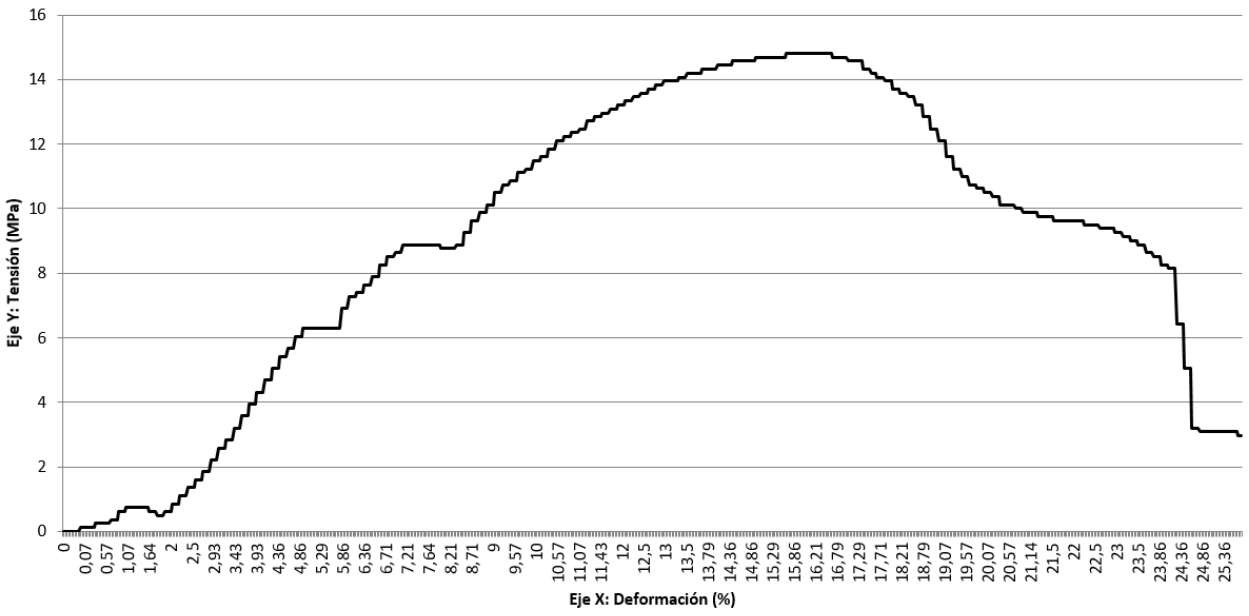


Figura 11 Ensayo de tracción de probeta Verde 1

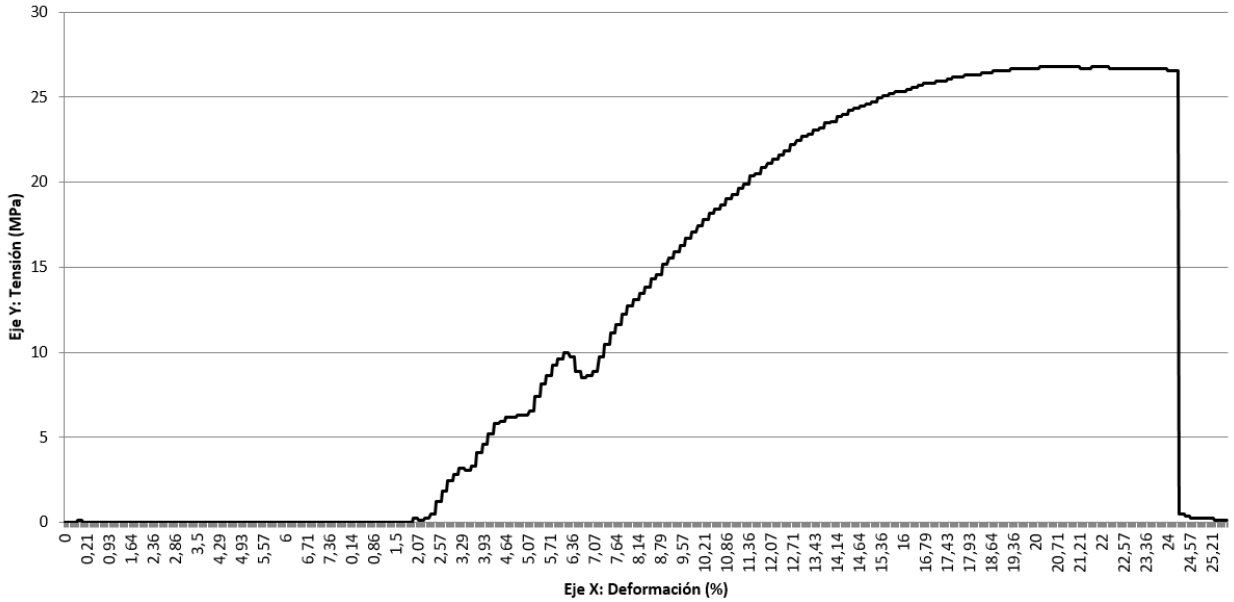


Figura 12: Ensayo de tracción de probeta Celeste

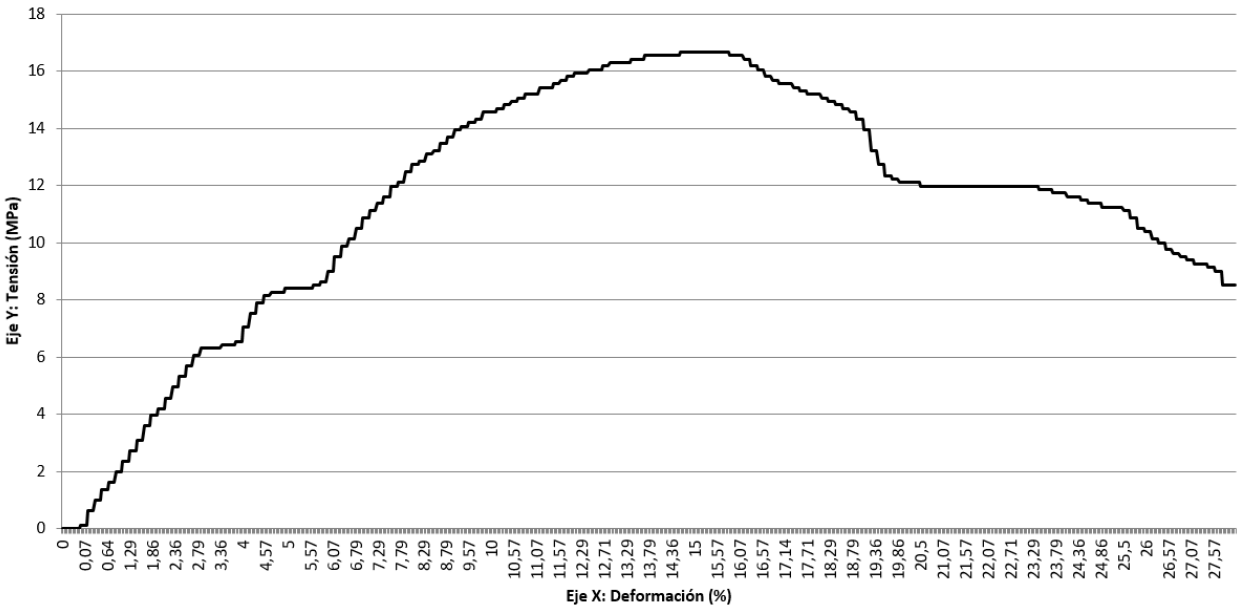


Figura 13 Ensayo de tracción de probeta Verde 2

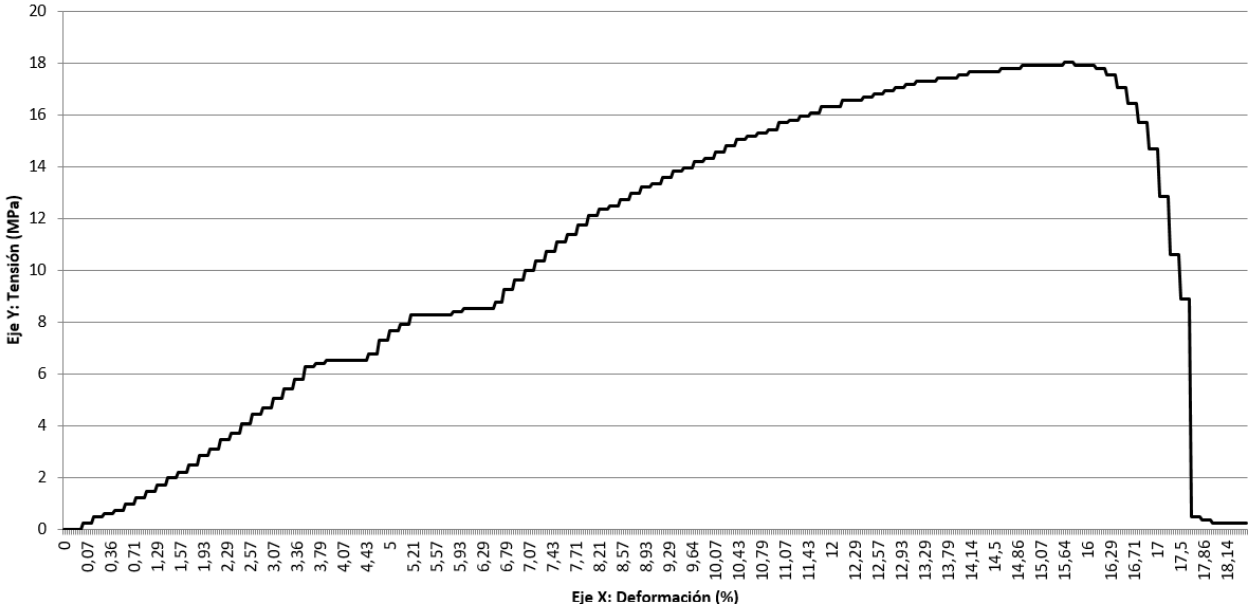


Figura 14 Ensayo de tracción de probeta Roja

De los resultados obtenidos a partir del ensayo se concluye que la influencia de la limpieza en la resistencia. Las tapitas celestes que son de agua mineral, que de por sí están limpias, dieron mejor resultado que las de gaseosa (Verde 1, Verde 2 y Roja). En la *Figura 12* del ensayo de tracción de la probeta celeste indica que es un material que en promedio es un 60% más resistente que las demás probetas. Lo que demuestra la importancia del lavado de los plásticos antes de ser reciclados. Al volver a realizar la prueba con las probetas hechas de tapitas de gaseosas, pero limpias se pudo observar una diferencia en la resistencia mecánica.

4. DISCUSIÓN

El desarrollo sostenible se refiere a la capacidad de satisfacer las necesidades del presente sin comprometer las generaciones futuras. En este sentido, la Ciudad de Buenos Aires adoptó formalmente en 2016 los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), destacando el ODS 12, que promueve la "Producción y consumo responsables". Esta meta apunta a mejorar la eficiencia de los recursos, promover infraestructuras sostenibles, y reducir la generación de desechos mediante la prevención, reducción, reciclaje y reutilización.

El proyecto en curso se alinea directamente con la Meta 12.5 del ODS 12, al buscar reducir el impacto ambiental de los residuos plásticos de un solo uso mediante la promoción de la economía circular. En particular, se enfoca en la transferencia de tecnología desde los alumnos de la UCA hacia la Cooperativa RUO, con el objetivo de mejorar sus prácticas de reciclaje de plásticos y aluminio, mientras se generan beneficios sociales y ambientales.

Este enfoque práctico no solo tiene relevancia en términos de reciclaje, sino que también promueve una mayor conciencia ambiental dentro de la comunidad académica, estimulando el trabajo interdisciplinario y fortaleciendo la colaboración con actores clave como las cooperativas de recicladores urbanos.

5. CONCLUSIONES

El proyecto aún está en proceso, sin embargo, pretende ser un iniciador para que futuros estudiantes puedan seguir realizando este tipo de prácticas y continuar desarrollando distintas alternativas para el reciclaje de plásticos y aluminio, con una perspectiva tanto ambiental como social. Esta iniciativa busca fomentar la conciencia ambiental dentro de la comunidad académica, promover el trabajo interdisciplinario y fortalecer el vínculo con actores sociales como las cooperativas de recicladores urbanos. Además, se espera que sirva como un modelo replicable para otras instituciones educativas, demostrando que la innovación y la sostenibilidad pueden ir de la mano en la búsqueda de soluciones concretas a los problemas de contaminación y gestión de residuos.

6. REFERENCIAS

Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. (2021, mayo 12). Recuperadores urbanos: su rol en el sistema de reciclaje es fundamental. Espacio Público e Higiene Urbana. https://buenosaires.gob.ar/espaciopublicoehigieneurbana/noticias/dia-del-recuperador-urbano-su-rol-en-el-sistema-de-reciclaje

Recuperadores Urbanos del Oeste. (2024). Servicios de la cooperativa. Recuperadores Urbanos del Oeste. http://www.cooperativaruo.org.ar/servicios

Recuperadores Urbanos del Oeste. (2024, 13 de junio). Recuperadores Urbanos del Oeste (RUO) Institucional [Video]. YouTube. https://youtu.be/i7WQzKtlZrE?si=dellphLeC8pUZ_Pk

Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). Materials Science and Engineering: An Introduction (10.ª ed.). Wiley

Precious Plastic. (2024). Build an Injection Machine. Recuperado de https://community.preciousplastic.com/academy/build/injection.

Groover, M. P. (2007). Fundamentos de manufactura moderna: Materiales, procesos y sistemas (3ª ed.). México: McGraw-Hill.

ASTM D638-18. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. ASTM International.

"BIOECONOMÍA EN LA REGIÓN DEL CHACO AUSTRAL"

Jachesky, Tamara; Álvarez, Manuel; Morales, Luis; Peters, Camila; Quinteros, Leonora

Universidad Nacional del Chaco Austral
tamara_jachesky@uncaus.edu.ar; alvarez@uncaus.edu.ar; luismorales@uncaus.edu.ar; camilaptrs@gmail.com; leonoraquinteros14@hotmail.com

RESUMEN

El presente artículo se centra en la Región del Chaco Austral, Argentina, actualmente considerada una oportunidad para el desarrollo bioeconómico debido a sus recursos biológicos y su ecosistema productivo primario. Para ello es imprescindible analizar todas las variables e indicadores posibles a corto y mediano plazo, así como estudiar la aplicación práctica de casos de desarrollo bioeconómico. Es apropiado comenzar el estudio y análisis a través de la caracterización de la matriz de clústers productivos actuales, ya que desde la perspectiva de la bioeconomía se busca alcanzar un desarrollo sostenible y mejorar la productividad agroindustrial en la región del Chaco Austral. Dado que este territorio presenta un escaso desarrollo productivo, con una producción primaria incompleta y matrices productivas poco incentivadas, se presenta una oportunidad significativa para implementar estrategias innovadoras y mejoras sustanciales.
Primeramente, se indaga sobre la aplicación de las herramientas de la bioeconomía a nivel global, continental, nacional y regional, para luego determinar su vinculación con la matriz productiva regional actual. En segundo lugar, se diagnostica la situación regional para identificar las asimetrías territoriales que puedan favorecer o dificultar la aplicación efectiva de los principios de la bioeconomía. Además, se identifican, definen, clasifican y caracterizan los clústeres en la región del Chaco Austral, determinando su estado en el ámbito de la bioeconomía para que se adapten más rápidamente a los nuevos estándares de productividad.

Palabras Claves: Recursos biológicos, Industrialización, Clusterización, Desarrollo regional, Sustentabilidad.

ABSTRACT

This article focuses on the Austral Chaco Region in Argentina, currently considered an opportunity for bioeconomic development due to its biological resources and primary productive ecosystem. It is essential to analyze all possible variables and indicators in the short and medium term, as well as study the practical application of bioeconomic development cases. It is appropriate to begin the study and analysis through the characterization of the current productive cluster matrix since, from the perspective of bioeconomy, the aim is to achieve sustainable development and improve agro-industrial productivity in the Austral Chaco region. Given that this territory has low productive development, incomplete primary production, and poorly incentivized productive matrices, it presents a significant opportunity to implement innovative strategies and substantial improvements. First, the application of bioeconomic tools at the global, continental, national, and regional levels is investigated to determine their connection with the current regional productive matrix. Second, the regional situation is diagnosed to identify territorial asymmetries that may favor or hinder the effective application of bioeconomic principles. Additionally, clusters in the Austral Chaco region are identified, defined, classified, and characterized, determining their state in the bioeconomy to adapt more quickly to new productivity standards.

Keywords: Biological resources, Industrialization, Clustering, Regional development, Sustainability.

1. INTRODUCCIÓN

La bioeconomía representa un enfoque emergente que se centra en el uso sostenible de los recursos biológicos y biotecnológicos para impulsar la producción de energía, materiales y bioproductos. Este modelo está ganando relevancia a nivel mundial, con el apoyo de instituciones internacionales y la implementación de estrategias nacionales en diversas regiones. En particular, América Latina se destaca por sus vastas reservas de biomasa y su capacidad para producir biocombustibles, lo que subraya su potencial en este campo del trabajo.

En Argentina, aunque no existe una estrategia formal específica, las iniciativas en ciencia, tecnología e innovación están cada vez más alineadas con los principios de la bioeconomía.

Este trabajo se enfoca en la Región del Chaco Austral, Argentina, una zona con significativas oportunidades para el desarrollo bioeconómico debido a sus recursos biológicos y su ecosistema productivo primario. El Chaco Austral es una subregión geográfica que conforma la Región del Gran Chaco Americano y que incluye a tres países: Argentina, Paraguay y Bolivia. Los 675.000 km2 existentes en Argentina comprenden la totalidad de las provincias del Chaco, Formosa y Santiago del Estero y parcialmente a las provincias de Salta, Jujuy, Tucumán, La Rioja, Catamarca, San Juan, San Luis, Córdoba, Santa Fe y Corrientes (Maldonado & Hohne, 2006).

Según expresa el documento sobre Reducción de Emisiones causadas por Deforestación y Degradación forestal en países en desarrollo, denominado también Mecanismo REDD+, en cuanto a la diversidad de especies la ecorregión del Gran Chaco es un ecosistema de elevado valor, entre otras cosas, por conectar áreas tropicales con áreas templadas. Esto hace que tengamos especies (animales y plantas) presentes de ambas áreas, y pocas especies raras o endémicas del Chaco (no es un área aislada) (Mecanismo REDD+, 2012).

Continúa este documento, expresando que, el Gran Chaco limita con nueve ecorregiones. En las zonas de contacto se genera un área de transición donde se entremezclan las comunidades biológicas de ambas ecorregiones (ecotono), lo que determina una mayor cantidad de especies en comparación con las existentes en las ecorregiones mismas. Esto explica la riqueza biológica existente en el Chaco. Es por esto que tanto el Gran Chaco como las ecorregiones que lo rodean son consideradas por los especialistas como áreas prioritarias de conservación.

A modo representativo y para el estudio se tomarán aquellas provincias que abarcan en su totalidad esta región. A pesar de su limitado desarrollo productivo actual, la región presenta un potencial considerable para implementar estrategias innovadoras que promuevan un desarrollo sostenible y mejoren la productividad agroindustrial. La exploración de estas oportunidades en el Chaco Austral busca contribuir a un mayor entendimiento y aplicación de la bioeconomía en contextos regionales específicos.

El objetivo general de este estudio es analizar y estudiar las herramientas de la bioeconomía que puedan orientar y mejorar el desarrollo de la productividad en los clusters de la región del Chaco Austral. Este análisis busca no solo identificar las mejores prácticas y tecnologías biotecnológicas aplicables, sino también adaptar dichas herramientas a las condiciones específicas de la región. Al hacerlo, se pretende promover un desarrollo sostenible que optimice el uso de los recursos biológicos disponibles, mejore la competitividad agroindustrial y facilite la integración de la región en el creciente campo de la bioeconomía. Asimismo, este estudio tiene como fin contribuir a la creación de un modelo productivo innovador que pueda ser replicado en otras áreas con características similares.

1.1. Factores condicionantes y que potencian la bioeconomía del Chaco Austral.

Los principales factores que condicionan el desarrollo de la bioeconomía en la región Chaco Austral tienen que ver con la existencia de un escenario regional caracterizado por la expansión de la actividad agropecuaria en los últimos 40 años. Este proceso, asociado a un profundo cambio de uso del suelo, ha provocado la deforestación y degradación de importantes masas forestales, alterando la provisión de variados servicios ecosistémicos. Los efectos negativos sobre los ecosistemas se acentúan con la adopción de prácticas basadas en un uso masivo de agroquímicos. A su vez, la difusión de modelos agropecuarios de gran escala acelera la disminución del número de productores y el aumento del tamaño promedio de las explotaciones acentuando el proceso de concentración que caracteriza a la estructura agraria regional.

Paralelamente, las potencialidades de esta región para el desarrollo de la bioeconomía están relacionadas con la dotación de importantes y diversos recursos biomásicos directos e indirectos. Se rescata la presencia de un conglomerado sucroalcoholero que además de generar electricidad y producir biocombustibles, constituye el germen de futuras biorrefinerías integradas. Acompaña la persistencia de una densa trama territorial de agricultura familiar con capacidades para revalorizar las especies alimenticias y medicinales nativas y la producción agroecológica.

Factores potenciales

1. Innovación Tecnológica
    - Avances en biotecnología que permiten mejorar la eficiencia en la producción
    - Desarrollo de nuevos materiales, servicios y productos a partir de recursos biológicos
2. Sustentabilidad
    - Enfoque en prácticas agrícolas y de producción que minimizan el impacto socioambiental
    - Potencial para la economía circular y la reducción de residuos
3. Diversificación de Productos
    - Oportunidades para desarrollar una amplia gama de productos, desde alimentos, medicamentos, biocombustibles y bioplásticos
    - Creación de nuevos mercados y cadenas de valor
4. Colaboraciones Multisectoriales

Factores condicionantes

1. Políticas gubernamentales
    - Regulaciones sobre biotecnología, agricultura y uso de recursos naturales
    - Incentivos fiscales y subsidios para proyectos de bioeconomía
2. Investigación y Desarrollo (I+D)
    - Disponibilidad de financiamiento para investigación en biotecnología y sustentabilidad
    - Colaboración entre universidades, institutos de investigación y la industria
3. Infraestructura
    - Redes de transporte y logística eficientes
    - Infraestructura adecuada para el cultivo, procesamiento y distribución de productos
4. Educación y Capacitación
    - Formación de profesionales en áreas relacionadas con la bioeconomía
    - Conocimiento y concientización sobre prácticas sustentables
5. Mercado de Oferta y Demanda
    - Aceptación del consumidor hacia productos sustentables y biológicos
    - Desarrollo de mercados para bioproductos, biotecnología y biocombustibles
6. Condicionantes ambientales
    - Disponibilidad de recursos naturales (agua, suelo, biodiversidad)
    - Factores climáticos que pueden afectar la producción de nuevos productos de origen biológico

1.2. Áreas estratégicas tecno-productivas.

La bioeconomía no es un sector de la economía; constituye una estrategia industrial que cruza toda la economía e incluye gran variedad de sectores y partes de sectores, tradicionales y nuevos, que comparten el concepto del uso de los procesos y recursos biológicos como un componente central de sus actividades de producción y servicios (Wierny et al., 2015).

Las cadenas de valor tradicionales pierden con la bioeconomía mucho de su sentido original; se genera lo que se podría describir como una red de valor, donde las distintas materias primas contribuyen a diversas cadenas, dependiendo de cómo se den las relaciones de demanda, disponibilidad de tecnología y los costos de oportunidad de los recursos involucrados en cada situación en particular (Hodson de Jaramillo et al., 2019).

Esta región presenta grandes posibilidades de desarrollo, apoyado en parte por ciertas redes de valor que poseen la capacidad potencial para impulsar la industria de alimentos y biocombustibles en la región. Las redes productivas del Chaco Austral seleccionadas para el estudio fueron: apícola, foresto industrial (árboles nativos), algodón y biomasa.

1.1.1. Foresto-industrial.

Siendo la cadena foresto industrial una de las más representativas de la región, la principal materia prima utilizada es la madera proveniente de los rollizos. La producción forestal primaria incluye los bosques implantados o reforestados y algunos nativos. Las provincias de Chaco, Formosa, Santiago del Estero y parte de Salta presentan más del 80 % de la extracción de bosques nativos del país, mientras que 75 % de la extracción de bosques implantados lo comparten Misiones y Corrientes (Mora Alfonsín, 2023).

Con la crisis agropecuaria de los años ´60, sobre todo del algodón, en el centro del Chaco se ha dado un fenómeno muy particular, como ha sido la concentración de establecimientos fabriles (inicialmente pequeños talleres) que con el tiempo fueron conformando importantes parques foresto-industriales.

Los establecimientos han integrado funciones de aserraje y carpintería, en función de abaratar costos y de conformar una organización empresaria con capacidad de abastecer una demanda no sólo local, sino regional y, en muchos casos, de puntos más alejados del país. Este fenómeno, en forma todavía incipiente y puntual, se observa también en las grandes ciudades (Resistencia. Presidencia Roque Sáenz Peña, Villa Ángela y Charata).

1.1.2. Algodón.

La producción de algodón en bruto se concentra principalmente en las provincias de Chaco y Santiago del Estero con un porcentaje de 70 %, distribuido el resto entre las provincias de Santa Fe, Corrientes, Formosa, Salta, entre otras. En cuanto a la capacidad de desmote, la distribución es similar entre las provincias.

El desmote es la etapa de transformación agroindustrial a través de la cual el algodón en bruto cosechado es procesado para separar la fibra de la semilla. La fibrilla es empleada para la elaboración de algodón hidrófilo y otros productos textiles. Impurezas mayores del desmote de algodón, como carpelos, fragmentos de tallos y ramas, tienen usos variados como combustible, ladrillos y biofertilizantes orgánicos.

1.1.3. Biomasa.

La biomasa es un recurso clave en la bioeconomía, especialmente en regiones con abundante materia prima natural, como el Chaco Austral. Según Coremberg (2018), el desarrollo de ventajas competitivas dinámicas en países con una base de biomasa desarrollada, pero con dificultades en la integración industrial, como es el caso de Argentina, enfrenta importantes desafíos. La bioeconomía ofrece la oportunidad de potenciar la generación de biomasa a partir de actividades agrícolas clave, con un impacto positivo tanto en la generación de empleo regional como en la sostenibilidad ambiental.

La relevancia de la biomasa en el desarrollo de la bioeconomía en Argentina no solo se refleja en su capacidad para generar biocombustibles a través de biorefinerías, como etanol y biodiesel, sino también en la diversificación de productos derivados, como fertilizantes y bioplásticos. Esta diversificación, a su vez, contribuye a la generación de empleo y divisas, aspectos esenciales para el equilibrio macroeconómico del país (Coremberg, 2018).

Además, la biomasa tiene un fuerte impacto regional, especialmente en áreas con grandes recursos naturales como el Chaco Austral. El aprovechamiento adecuado de estos recursos puede impulsar la creación de clústeres industriales, donde la interconexión entre las capacidades industriales y la innovación tecnológica promueva un desarrollo sostenible y equitativo. Coremberg (2018) destaca la necesidad de políticas de desarrollo productivo que aprovechen la base tecnológica y de innovación del país, y que incluyan inversiones en infraestructura, orientadas a mejorar la competitividad regional y a fortalecer las cadenas de valor.

El ejemplo más claro de la relevancia de la biomasa en el Chaco es la inauguración, en diciembre de 2020, de dos centrales generadoras de energía basadas en biomasa forestal en La Escondida y Puerto Tirol, en la provincia del Chaco (Agencia Tierra Viva, 2021). Estas centrales, gestionadas por las empresas Indunor y Unitan, representan una inversión significativa y prometen ser un proyecto sostenible. Sin embargo, surge la preocupación de que, si bien la biomasa es una alternativa ecológica en teoría, su viabilidad depende de la fuente del material utilizado. En el caso del Chaco, que ha sufrido una severa deforestación en los últimos años, es fundamental que los descartes forestales que alimentan estas plantas provengan de fuentes sostenibles, y no de la explotación de bosques nativos (Agencia Tierra Viva, 2021).

El uso de la biomasa de origen forestal se presenta como un desafío relevante para el norte argentino y, en particular, para la provincia del Chaco. Los residuos producidos por el sector forestal ofrecen un gran potencial biomásico para la generación de bioenergía. Empresas como Unitan, en Puerto Tirol, e Indunor, en La Escondida, han realizado importantes inversiones para explotar este potencial. La Central de Generación de Energía a Biomasa de Unitán, inaugurada por el presidente Alberto Fernández, refleja el compromiso de las industrias locales por impulsar el uso de fuentes de energía alternativas y sostenibles (Diario Norte, 2021). Esta bioenergía no solo representa una opción más limpia, sino que también permite valorizar residuos forestales que, de otro modo, serían desaprovechados.

Las provincias de Salta, Santiago del Estero, Chaco y Formosa, que forman parte del Parque Chaqueño, poseen abundantes recursos biomásicos leñosos. Sin embargo, la expansión de la frontera agropecuaria ha generado una degradación significativa de estos ecosistemas, poniendo en riesgo su aprovechamiento sostenible. Por lo tanto, para que los clústeres basados en biomasa en el Chaco Austral prosperen, es necesario implementar prácticas de manejo forestal sostenible que aseguren la preservación de estos recursos a largo plazo

1.1.4. Apicultura.

La apicultura en la región del Chaco Austral representa una de las actividades económicas clave dentro del marco de la bioeconomía, debido a su capacidad de aprovechar los recursos biológicos de manera sostenible. Esta cadena de valor se beneficia de la abundancia de montes y bosques nativos, los cuales proporcionan un hábitat propicio para la producción de miel de alta calidad. Las condiciones ambientales únicas de la región permiten que las mieles obtenidas posean características diferenciadas, tanto en su composición fisicoquímica como en sus propiedades organolépticas, lo que incrementa su valor en los mercados locales e internacionales.

La organización productiva en torno a la apicultura se caracteriza por un sistema cooperativo robusto, donde pequeños productores se agrupan en asociaciones y cooperativas, lo que facilita el acceso a tecnologías, infraestructura y mercados. Este modelo de organización no solo fortalece la capacidad productiva de los apicultores, sino que también fomenta la inclusión social y la equidad económica, aspectos fundamentales dentro de los principios de la bioeconomía. Las salas de extracción compartidas y los sistemas de certificación colectiva permiten a estos pequeños productores incrementar su competitividad y acceso a cadenas de valor globales.

Además de sus beneficios económicos, la apicultura en esta región contribuye a la sostenibilidad ambiental. Las abejas juegan un rol crucial en la polinización de especies vegetales autóctonas, ayudando a mantener la biodiversidad de los ecosistemas nativos y asegurando la regeneración natural de los montes. Este equilibrio entre producción económica y conservación ecológica refuerza la relevancia de la apicultura dentro de la bioeconomía regional.

La expansión de la apicultura en el Chaco Austral también presenta oportunidades para la innovación en biotecnología aplicada. El uso de tecnologías de la información y la comunicación (TICs) para el monitoreo de colmenas y la trazabilidad de la producción apícola permite mejorar la gestión de los recursos, aumentar la productividad y garantizar la calidad del producto final. Asimismo, la integración de prácticas apícolas con otros sectores bioeconómicos, como la producción de biomasa o la agroforestería, puede generar sinergias que potencien el desarrollo regional de manera sostenible.

Puede decirse, sin temor a equivocarse, que la apicultura en el Chaco Austral no solo es una actividad económica emergente y de alto valor agregado, sino que también se alinea con los principios fundamentales de la bioeconomía: sostenibilidad, innovación y generación de valor desde los recursos biológicos locales. La diversificación productiva que ofrece esta actividad contribuye al desarrollo integral de la región, fomentando un modelo económico más resiliente y adaptable a los desafíos del siglo XXI.

2. IMPORTANCIA DE CLÚSTERES EN EL DESARROLLO REGIONAL

Para maximizar el potencial de las cadenas de valor del Chaco Austral, es fundamental comprender el concepto de clústeres y su aplicación en la bioeconomía. Un clúster se define como una concentración geográfica de empresas e instituciones conexas, pertenecientes a un campo concreto, unidas por rasgos comunes y complementarias entre sí. La principal ventaja de los clústers se deriva de su

contribución a la mejora de la ventaja competitiva de las empresas que lo componen, que contribuiría, a su vez, a la mejora de la competitividad de la región en la que se sitúa.



Figura 1 Matriz FODA/DAFO para desarrollo de clusters a partir de la bioeconomía. Fuente: elaboración propia con CANVA y basado en OpenAI (2024)

La formación de clústeres en sectores como el foresto-industrial, el algodón, la apicultura y la biomasa puede ofrecer múltiples beneficios, entre los cuales se destacan:

2.1. Innovación y competitividad.

En el sector foresto-industrial, la innovación se centra en la implementación de técnicas sostenibles y el manejo eficiente de recursos. La gestión sostenible de bosques nativos y plantaciones forestales es crucial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. La madera producida de manera sostenible contribuye significativamente a la transición energética y a la reducción de la huella de carbono en diversas cadenas productivas.

Por otro lado, la posibilidad de producir algodón sustentable en la región del Chaco Austral bajo una certificación específica impacta significativamente en toda la cadena de valor, desde la producción primaria hasta la industria textil, e impulsa la innovación en el sector.

La capacitación en el uso de tecnologías de la información y la comunicación (TICs) permitirá mejorar la trazabilidad y el monitoreo de colmenas. Esta adopción tecnológica facilitará una gestión más precisa y efectiva de los recursos apícolas, beneficiando tanto a pequeños productores como a grandes empresas del sector.

En cuanto a la biomasa, la innovación se enfoca en el desarrollo de biorefinerías que permiten convertir residuos agrícolas y forestales en bioenergía y bioproductos.

2.2. Desarrollo de capital humano.

Los clústers facilitan la transferencia de conocimiento mediante la colaboración entre instituciones académicas y empresas, lo que prepara a los trabajadores para enfrentar los desafíos del mercado global. Este intercambio de conocimiento también impulsa la creación de redes de investigación y desarrollo (I+D), generando y compartiendo nuevas prácticas y tecnologías aplicables a cada sector.

2.3. Atracción de inversiones.

La consolidación de clústers bien organizados en la región del Chaco Austral puede atraer inversiones significativas en los sectores mencionados. En el sector foresto-industrial, puede impulsar la modernización de infraestructuras y el desarrollo de nuevos productos derivados de la madera, como paneles de construcción sostenibles y bioplásticos. En la industria del algodón, las inversiones en tecnologías de cultivo avanzado y en toda la cadena de valor textil, desde la fibra hasta el producto terminado, pueden mejorar notablemente la competitividad del sector y atraer capital externo. Para la apicultura, las inversiones en certificación orgánica, marketing y desarrollo de productos innovadores pueden elevar la calidad y el valor agregado de los productos apícolas. En el sector de la biomasa, las inversiones en tecnologías de biorrefinería y proyectos de energía renovable basados en biomasa pueden generar un impacto positivo significativo en la economía regional, fomentando el desarrollo sostenible. Estos esfuerzos conjuntos no solo fortalecen cada sector específico, sino que también promueven un crecimiento económico integrado y sostenible en la región.

2.4. Trabajo colaborativo con Entidades Gubernamentales en el Chaco Austral.

Además de las ventajas inherentes de los clusters en la región del Chaco Austral, es crucial establecer una estrecha colaboración con entidades gubernamentales para fomentar programas y normativas que impulsen su desarrollo dentro del marco de la bioeconomía. La implementación de políticas públicas adecuadas puede fortalecer significativamente la integración de estos clusters en la economía regional, aprovechando los recursos biológicos y promoviendo prácticas sostenibles. Se propone trabajar en conjunto con instituciones gubernamentales para diseñar incentivos fiscales, facilitar el acceso a financiamiento y promover la innovación tecnológica en los sectores clave identificados, con el objetivo de mejorar la competitividad y la resiliencia económica del Chaco Austral frente a los desafíos globales y locales.

3. CONCLUSIONES.

Los resultados y beneficios esperados de esta investigación en curso prometen contribuciones significativas en las dimensiones teóricas, prácticas y metodológicas del estudio de la bioeconomía en la región del Chaco Austral. Además de generar nuevo conocimiento, se anticipa que los hallazgos impacten positivamente en políticas públicas relacionadas con el desarrollo regional sostenible y la innovación tecnológica. Se espera que las aplicaciones prácticas derivadas de estos resultados mejoren la productividad local, fomenten la colaboración interinstitucional, y faciliten la transferencia de tecnologías y conocimientos. Asimismo, se planifica medir de manera rigurosa el impacto social, ambiental, económico y científico de la implementación de estas conclusiones, proporcionando así una evaluación cuantitativa y cualitativa del alcance de estas contribuciones.

En conclusión, aunque esta investigación aún está en curso, ya se han logrado importantes avances. Se definieron y clasificaron los clusters de la región del Chaco Austral, lo que permite enfocarse en áreas específicas con gran potencial de desarrollo bioeconómico. Este paso es crucial, ya que proporciona una base sólida para implementar estrategias innovadoras que fomenten el crecimiento sostenible y la competitividad agroindustrial de la región. La bioeconomía es un campo emergente tanto en el país como en esta región, y su desarrollo representa una oportunidad significativa para transformar la economía local. En las siguientes etapas de la investigación, se trabajará con relevamientos en los distintos clústeres, encuestas y se plantearán variables e indicadores de la productividad para obtener resultados cuantitativos. Además, se realizará un análisis cualitativo para comprender mejor las dinámicas y oportunidades presentes en la región.

5. REFERENCIAS.

Agencia Tierra Viva. (2021, 4 de febrero). Chaco: ¿Qué son las centrales de biomasa y cuál es su relación con los desmontes? Agencia Tierra Viva. https://agenciatierraviva.com.ar/chaco-que-son-las-centrales-de-biomasa-y-cual-es-su-relacion-con-los-desmontes/

Bocchetto, R. M., Gauna, D. H., Bravo, G. C., Gonzalez, C. B., Rearte, M., Molina Tirado, L., ... & Vaudagna, S. R. (2020). Bioeconomía del Norte Argentino: situación actual, potencialidades y futuros posibles. Documento de trabajo. MINCyT-INTA-INTI-UNNE-UNSa–UNSE.

Coremberg, A. (2018). Medición de la cadena de valor de la bioeconomía en Argentina: Hacia una cuenta satélite. Informe final. Ministerio de Agroindustria de la Nación, Secretaría de Alimentos y Bioeconomía. https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/bioeconomia/_archivos/Medicion_de_la_Bioeconomia2018.pdf

Diario Norte. (2021, 6 de febrero). El uso de la biomasa de origen forestal, un interesante desafío en el Chaco. Diario Norte. https://www.diarionorte.com/198939-el-uso-de-la-biomasa-de-origen-forestal-un-interesante-desafio-en-el-chaco

Grajales, J. M. (2003). Competitividad y clusters industriales. Revista de Economía y Sociedad, 12(1), 78-95.

Hodson de Jaramillo, E., Henry, G., & Trigo, E. (2019). La bioeconomía. Nuevo marco para el crecimiento sostenible en América Latina: Bioeconomy. New framework for sustainable growth in Latin America (E. Hodson de Jaramillo, G. Henry, & E. Trigo, Eds.). Editorial Pontificia Universidad Javeriana. https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/8366/BVE190403022e.pdf;jsessionid=D906FAD9EB8A013804D247A29B164EB1?sequence=1

Maldonado, P., & Hohne, E. (2006). Atlas del Gran Chaco Americano. In Atlas del Gran Chaco Americano: proyecto: Manejo Sostenible de los Recursos Naturales en el Chaco Sudamericano (pp. 11-12). Agencia Alemana de Cooperación Técnica. 13:978-987-21202-2-1

Mecanismo REDD+. (2012). Mecanismo REDD en el Gran Chaco. https://gran-chaco.agro.uba.ar/. Retrieved September 26, 2024, from https://gran-chaco.agro.uba.ar/sites/default/files/pdf/sem2/Mecanismo%20REDD%20en%20el%20Gran%20Chaco.pdf

Mora Alfonsín, L. (2023, marzo). La foresto-industria en Argentina. Argentina.gob.ar. Retrieved September 19, 2024, from https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/38_-_foresto-industria_1.pdf

Porter, M. E. (1999). Ser competitivo: nuevas aportaciones y conclusiones. Ediciones Deusto.

Salgado, C. (2006). Propiedades fisicoquímicas de la miel de quebracho colorado. Revista de Apicultura, 23(2), 45-56.

Salgado, C., & Maidana, J. (2014). Comparación de mieles de diferentes orígenes florales. En Actas del Congreso Nacional de Apicultura.

Salgado, C., et al. (2014). Calidad y composición de la miel del Chaco Austral. Informe Técnico de la Universidad Nacional del Nordeste.

Salgado, C., et al. (2017). Caracterización de mieles de monte nativo del Chaco. Journal of Apicultural Research, 56(4), 332-341.

Wierny, M., Coremberg, A., Costa, R., Trigo, E., & Regúnaga, M. (2015). Medición de la bioeconomía: Cuantificación del caso argentino. Bolsa de Cereales.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer a la Universidad Nacional del Chaco Austral por la permanente contribución en el desarrollo de este proyecto de investigación.

"POSIBILIDADES DE REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN LA FABRICACIÓN DE CEMENTO EN ARGENTINA"

Bonini, Agustina; Reyna, Santiago M.

Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
agustina.bonini@mi.unc.edu.ar; santiago.reyna@unc.edu.ar;

RESUMEN

La industria cementera es vital para el desarrollo económico de Argentina, contribuyendo en un 1,5% al PBI del país. Sin embargo, es también una de las principales emisoras de Gases de Efecto Invernadero (GEI) debido a su proceso productivo intensivo en energía y dependiente de combustibles fósiles. Los niveles de emisiones en la producción de cemento alcanzan cerca del 5% de las emisiones totales de GEI globales.
El principal objetivo de este trabajo es evaluar algunas posibilidades de reducción de la huella de carbono de la industria cementera en Argentina mediante la integración de energías renovables, como la solar y la eólica, y de combustibles alternativos que pueden ser incorporados en las operaciones de las plantas cementeras para suministrar electricidad limpia y reducir la dependencia de la red eléctrica convencional. Además, se busca promover la sostenibilidad y la competitividad de la industria cementera, reduciendo su dependencia de los combustibles fósiles.
El análisis de la efectividad de las alternativas propuestas en la fabricación de cemento como posibilidad de reducción de emisiones GEI se realiza en este trabajo utilizando como indicador ambiental la Huella de Carbono de Producto.
Como resultado de las propuestas de posibles usos de distintas energías renovables, se espera como consecuencia una significativa reducción en las emisiones de GEI provenientes de las plantas cementeras, lo que contribuiría a los compromisos de Argentina en materia de cambio climático.

Palabras Claves: Huella de Carbono; Energías Renovables; Cemento; Gases de Efecto Invernadero; Sustentabilidad.

ABSTRACT

The cement industry is vital to Argentina's economic development, contributing 1,5% of the country's GDP. However, it is also one of the main emitters of greenhouse gases (GHG) due to its energy-intensive and fossil fuel-dependent production process. Emission levels in cement production reach about 5% of total global GHG emissions.

The main objective of this work is to evaluate some possibilities for reducing the carbon footprint of the cement industry in Argentina through the integration of renewable energies, such as solar and wind, and alternative fuels that can be incorporated into cement plant operations to supply clean electricity and reduce dependence on the conventional power grid. In addition, it seeks to promote the sustainability and competitiveness of the cement industry by reducing its dependence on fossil fuels.

The analysis of the effectiveness of the proposed alternatives in cement manufacturing as a possibility of reducing GHG emissions is carried out in this work using the Product Carbon Footprint as an environmental indicator.

As a result of the proposals of possible uses of different renewable energies, a significant reduction in GHG emissions from cement plants is expected as a consequence, which would contribute to Argentina's commitments on climate change.

Keywords: Carbon Footprint; Renewable Energy; Cement; Greenhouse Gases; Sustainability.

1. INTRODUCCIÓN

La fabricación del cemento Portland es un proceso industrial crucial para la construcción moderna, ya que este material es la base de una gran cantidad de estructuras y obras civiles en todo el mundo. El cemento Portland es un tipo de cemento hidráulico que se produce a partir de la combinación de piedra caliza y arcilla, principalmente, que se someten a altas temperaturas en un horno especial. Este proceso, que combina química y tecnología avanzada, da como resultado un material versátil y resistente que se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones de construcción.

Con respecto a la producción cementera en Argentina, anualmente se producen alrededor de 11,6 millones de toneladas de cemento, pero las empresas cementeras poseen una capacidad instalada de producción anual de 18,5 millones de toneladas de cemento. Esto indica que para 2022, el factor de utilización de las plantas fue del 71%.

Por otro lado, la industria del cemento en Argentina se encuentra concentrada, ya que está compuesta por cuatro empresas productoras, con 16 plantas integradas en producción. La ubicación geográfica de las plantas productoras está directamente relacionada con la existencia de potenciales demandantes del producto debido a la particularidad de que los costos del flete del cemento son elevados en comparación con el precio del bien transportado.

La industria del cemento es uno de los mayores consumidores de energía del mundo, puesto que en ella se invierte entre un 12 y un 15 % del total de la energía destinada para uso industrial. Debido a que el proceso de producción implica alcanzar temperaturas de 1.300 °C se deben utilizar combustibles de gran poder calorífico. Usualmente, la fabricación de clinker, que se obtiene tras la calcinación, utiliza combustibles secundarios no renovables. A nivel mundial, el combustible más utilizado para la generación de la energía necesaria para los hornos de cemento es el carbón, seguido del fuel oil. Sin embargo, existen varios países, como Argentina, donde se utiliza el gas natural como combustible principal.

La intensidad de las emisiones directas de CO_2 de la producción mundial de cemento se ha mantenido prácticamente sin cambios en los últimos cinco años y se estima que ha aumentado ligeramente (un 1%) en 2022. En el camino a la mitigación de emisiones se requieren descensos anuales de la intensidad de CO_2 del 4% hasta 2030 para que el sector se dirija hacia el escenario de emisiones netas cero para 2050 (IEA, 2023).

Para descarbonizar el sector cementero existen varios caminos. La primera opción consiste en mejorar la eficiencia energética de los procesos actuales, pero, incluso con la aplicación de medidas de eficiencia energética, se prevé que las emisiones del sector de la construcción superen con creces lo permitido para mantener el aumento de la temperatura global dentro de los 1,5 °C, objetivo fijado en el Acuerdo de París de 2015 sobre el cambio climático. La segunda opción está relacionada con la sustitución de las fuentes de energía tradicionales por alternativas renovables y limpias. Esta segunda opción es la analizada en este trabajo.

2. OBJETIVOS

Este trabajo tiene como objetivo explorar las posibilidades de reducción de la huella de carbono en la fabricación de cemento mediante el uso de energías renovables, como la solar y la eólica, y combustibles alternativos a los fósiles.

3. METODOLOGÍA

El análisis de la efectividad del uso de energías renovables en la fabricación de cemento como posibilidad de reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) se lleva a cabo utilizando como indicador ambiental la Huella de Carbono de Producto. La huella de carbono es la suma de todas las emisiones de GEI producidas durante el Ciclo de Vida del producto o servicio analizado y se expresa en toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente (tCO_2e).

La metodología de cálculo utilizada para la determinación de la Huella de Carbono se basa en el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero del *World Resources Institute* y *World Business Council for Sustainable Development*, utilizando los Alcances 1, 2 y 3 para la clasificación de las emisiones directas e indirectas. Las emisiones de Alcance 1 proceden de la producción directa de bienes y servicios; las de Alcance 2, de la electricidad utilizada para la producción; y las de Alcance 3, de los costes indirectos

y de las emisiones anteriores y posteriores al proceso. Además, se estudia el cambio en el valor de la Huella de Carbono de la fabricación de cemento si se lograra la sustitución, parcial o total, de las fuentes de energía actuales por otras fuentes alternativas y limpias.

Con los datos obtenidos se lleva a cabo una comparación de la Huella de Carbono inicial (fabricación convencional) con la Huella de Carbono final (fabricación con energías renovables y combustibles alternativos), verificando el potencial de reducción de la misma. Es importante destacar que para comparar a todas las plantas bajo una misma métrica se usan valores medios de consumos específicos ya que todas las firmas productoras tienen la misma tecnología de producción. La intensidad energética de un sector manufacturero es una media, calculada como la relación entre el consumo total de energía del sector y la producción total del material a nivel nacional. Este valor es útil a la hora de comparar el desempeño energético de una industria con otras del mismo sector o con su propio desempeño en el tiempo. A su vez, la intensidad energética está directamente relacionada con las emisiones GEI y conocerla permite evaluar el impacto ambiental de la industria y tomar medidas para reducirlo.

3.1. Recopilación de datos de la industria cementera

El primer paso del análisis fue recopilar datos referentes a los consumos térmicos y eléctricos y de materias primas del proceso de fabricación del cemento. Además, se necesitan los factores de emisión adecuados y los datos de actividad para calcular las emisiones GEI asociadas a esos consumos y demás partes del proceso de fabricación.

Para la obtención de los datos se utilizaron los Reportes de Sustentabilidad de las empresas cementeras argentinas más importantes y el informe del proyecto “Eficiencia Energética en Argentina” realizado en 2017 liderado por GFA Consulting Group. En este trabajo se consideraron los promedios de los consumos de 4 empresas cementeras que poseen 16 plantas en total.

Tabla 1 Consumos térmicos y eléctricos de la fabricación del cemento para el año 2017. Fuente: Dubrovsky & Nadal (2019).

Empresas cementeras	**Energía eléctrica (MWh)**	**Gas natural (m^3)**	**Coque de petróleo (t)**	**Residuos industriales y otras fuentes (t)**	**Producción de cemento (t)**	**Intensidad (GJ/t de cemento)**
Holcim	306.560	73.947.000	153.893	136.000	3.600.000	3,2
Loma Negra	662.418	306.297.000	186.671	50.000	6.420.000	3,2
Cementos Avellaneda	286.629	103.822.800			1.581.347	3,0
PCR	12.050	49.752.320			358.805	4,9
Total	**1.267.658**	**533.819.121**	**340.564**	**186.000**	**11.960.152**	**3,2**

Tabla 2 Resumen de consumos e intensidades energéticas en promedio para la producción de cemento (en toneladas) en Argentina para el año 2017.

Consumo térmico (MJ/t)	**Consumo eléctrico (kWh/t)**	**Emisiones consumo térmico (kg CO_2e/t)**	**Emisiones consumo eléctrico (kg CO_2e/t)**	**Emisiones totales (kg CO_2e/t)***
2.839	106	178	32	746

*Las emisiones totales corresponden a la sumatoria de las emisiones de consumo térmico y eléctrico, emisiones de procesos (por ejemplo, descomposición de carbonatos) y explotación de las materias primas.

Tabla 3 Insumos de recursos y energía utilizados en la extracción de materias primas en la fabricación de clinker. Fuente: Gursel et al., 2014.

Combustible	**Ud.**	**Ud/t materia prima**	**Poder calorífico inferior (kcal/unidad)** 1 atm de presión y 20°C	**Factor de emisión (kg CO_2/GJ)**

Carbón bituminoso	kg	0,036	5.900	94,5
Gas natural	m^3	0,140	8.300	56,2
Diésel	l	0,584	9.064	74,3
Gasolina o nafta	l	0,051	7.280	71,1
Coque de petróleo	kg	-	7.768	97,9
Electricidad	kWh	4,230	FE: 0,30 kg CO_2/kWh	

Según la Tabla 1, el 75% de la energía consumida en la producción del cemento se utiliza en procesos térmicos. Por lo tanto, las medidas que se adopten en eficiencia energética, uso racional de los recursos y reconversión tecnológica deben aplicarse especialmente en este segmento del proceso productivo, ya que conducirán a un menor consumo de combustibles y menores emisiones de GEI, entre otros beneficios económicos y ambientales. Los principales usos energéticos son el combustible para la producción de clinker (horno rotatorio) y la electricidad para moler materias primas y el cemento acabado. El principal insumo del sector es el gas natural y el segundo lugar lo ocupan los residuos industriales y otras fuentes no convencionales. El consumo de coque de petróleo y de combustibles derivados de residuos industriales es una práctica habitual en esta industria para sustituir el gas natural.

3.2. Cálculo de huella de carbono

La presente investigación se enfoca en el cemento para la construcción, conocido como “cemento Portland”. La producción de cemento genera una gran cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO_2), óxidos de nitrógeno (NOx), dióxido de azufre (SO_2), cloruros y fluoruros, COVs y metales pesados, así como partículas en suspensión (PM10, PM4, PM2.5 y PM1) que afectan a la calidad del aire y a la salud de las personas. Los niveles de emisiones en la producción de cemento son relevantes, alcanzando cerca del 5% de las emisiones totales de GEI en el mundo. Esto es especialmente preocupante en el contexto actual de cambio climático y se agrava aún más porque se prevé que la demanda global de cemento Portland aumente casi un 200% para 2050 con respecto a los niveles de 2010, alcanzando los 6.000 millones de toneladas/año (Pacheco et al., 2013). En Argentina, en el *Cuarto Informe Bienal de Actualización* de 2021 se indica que las emisiones en el proceso productivo del cemento alcanzaron las 4.535 millones tCO_2eq.

La producción del cemento Portland implica una serie de reacciones químicas complejas que ocurren entre la caliza y la arcilla, junto con otros componentes minoritarios como la arena, la puzolana o la escoria. Estas reacciones se llevan a cabo a altas temperaturas, típicamente entre 1.300 y 1.450°C, en un proceso conocido como clinkerización. Las reacciones principales son:

- Descarbonatación de la caliza: La caliza, que es principalmente carbonato de calcio ($CaCO_3$), se descompone en óxido de calcio (CaO) y dióxido de carbono (CO_2) a temperaturas elevadas.
- Formación de silicatos de calcio: El óxido de calcio (CaO) reacciona con la sílice (SiO_2) proveniente de la arcilla para formar silicatos de calcio, que son los principales componentes del clinker y responsables de la resistencia del cemento.
- Formación de aluminatos de calcio: El óxido de calcio (CaO) también reacciona con la alúmina (Al_2O_3) proveniente de la arcilla para formar aluminatos de calcio, como el aluminato tricálcico (C3A), que contribuye al fraguado rápido del cemento.
- Formación de ferritos de calcio: El óxido de calcio (CaO) reacciona con el óxido de hierro (Fe_2O_3) proveniente de la arcilla o de otros aditivos para formar ferritos de calcio, como la ferrita cálcica ($CaFe_2O_4$), que mejora la resistencia y la trabajabilidad del cemento.

3.2.1 Emisiones de la extracción de la materia prima

El cemento inicia su proceso productivo con la extracción y preparación de materias primas, proceso que se desarrolla en canteras donde se realizan voladuras controladas para la explotación de materiales pétreos como pizarras y calizas, entre tanto, se usan excavadoras para la extracción de materiales blandos, como arcillas. Para extraer cualquiera de los materiales mencionados se realizan tres pasos: la exploración, la extracción propiamente en sí, y el triturado. Para el proceso de extracción

de estos materiales se utilizan como combustible carbón bituminoso, gas natural, fuel oil y gasolina. Por cada tonelada de clinker producido se requieren aproximadamente 1,5 toneladas de harina cruda (mezcla de materias primas) y por cada tonelada de cemento se necesitan 0,95 toneladas de clinker. Los combustibles y los rendimientos de las materias primas se detallaron en la Tabla 3. En resumen, la extracción y transporte a planta (las distancias no suelen superar 1 kilómetro) de la materia prima implica la emisión de 33,3 kg CO_2/ t de cemento.

3.2.2 Emisiones de combustión estacionaria

Se consideran en este apartado la combustión de gas natural, coque de petróleo y residuos industriales que se utilizan durante la producción de clinker en las instalaciones de producción del cemento. Se utiliza la Ecuación (1) para calcular las emisiones de la combustión estacionaria.

$$\text{Emisiones}_{GEI} = \text{Consumo de combustible} \times FE \times PCG \times Fox \quad (1)$$

Donde:

Emisiones GEI: Emisiones de dióxido de carbono equivalente (kg CO_2e).

Consumo combustible: Cantidad de combustible quemado (GJ, Gigajoule). Se calcula en base al valor de poder calorífico inferior de cada combustible.

FE: Factor de emisión de un gas de efecto invernadero dado por tipo de combustible (kg gas/GJ).

PCG: Potencial de Calentamiento Global. Según el *Quinto Informe de Evaluación del IPCC* (2017) se utiliza un valor de 1 para el CO_2, de 28 para el CH_4 y de 265 para el N_2O.

Fox: Factor de oxidación. Se asume igual a la unidad debido a que las elevadísimas temperaturas de combustión y el largo tiempo de permanencia en los hornos logra oxidar el carbono de todos los combustibles presentes.

3.2.3 Emisiones por consumo de electricidad

Las emisiones relacionadas con la electricidad consumida se consideran indirectas, excepto si la electricidad es producida por la propia empresa (producción de energía in situ). En base al *Cuarto Informe Bienal de Actualización* de 2021, el Factor de Emisión de la red argentina de energía eléctrica es de 0,30 kg CO_2eq/kWh.

3.2.4 Emisiones de proceso

En la fabricación del cemento, el CO_2 se genera durante la producción de clinker, un producto intermedio constituido de nódulos, que luego se somete a una molturación fina conjuntamente con una pequeña proporción de sulfato de calcio, para formar el cemento Portland. Durante la producción del clinker se calcina la piedra caliza, compuesta esencialmente de carbonato de calcio ($CaCO_3$), para producir cal (CaO) y CO_2 como productos derivados. El CaO reacciona entonces con la sílice (SiO_2), la alúmina (Al_2O_3), y el óxido de hierro (Fe_2O_3) presentes en las materias primas, para formar minerales de clinker (principalmente silicatos de calcio). En las *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* se recomienda calcular estas emisiones a partir de las estimaciones de producción de clinker inferidas de los datos sobre la producción de cemento, y se corrigen en función de las exportaciones e importaciones de clinker. Se aplica un factor de emisión para el clinker y las emisiones se calculan utilizando la Ecuación 2.

$$\text{Emisiones}_{CO2} = ((Mci \times Ccli) - Imp + Ex) \times FEcli \quad (2)$$

Donde:

Emisiones de CO_2: Emisiones de CO_2 provenientes de la producción de cemento (toneladas métricas).

Mci: Peso (masa) de cemento producido de tipo “i”, (toneladas métricas).

Ccli: Fracción de clinker del cemento de tipo “i”, (fracción).

Im: Importaciones para el consumo de clinker, (toneladas métricas).

Ex: Exportaciones de clinker, (toneladas métricas).

FEcl: Factor de emisión del clinker en el cemento Portland, (toneladas de CO_2/toneladas de clinker).

Para obtener el factor de emisión del clinker se considera el contenido de cal libre (CaO) en el clinker que en Argentina es de 65,9%, según lo confirmado por la AFCP para el *2do informe bienal de actualización de la república argentina a la convención marco de las naciones unidas* (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2017). Este valor se corresponde entonces con una liberación de 0,52 toneladas de CO_2 por tonelada de clinker durante la calcinación de $CaCO_3$.

El factor de emisión del clinker que se toma por defecto (FEcli) está corregido para el polvo de horno de cemento (CKD, del inglés *Cement Kiln Dust*). Si se supone una corrección aditiva del 2% para dar cuenta de las emisiones provenientes de la calcinación del CKD, el factor de emisión del clinker que se toma por defecto para Argentina se calcula según la Ecuación 3.

$$FE_{cli} = 0,52 \times 1,02 = 0,53 \text{ t de } CO_2\text{/ t de clinker} \quad (3)$$

Según indica la Asociación de Fabricantes de Cemento Portland (AFCP), gracias al uso de adiciones minerales, la industria cementera nacional ha logrado reducir, a lo largo de las últimas décadas, el factor clinker de sus cementos, hasta aproximarse casi al 72 % en 2017, lo que ha contribuido a una significativa reducción de la huella de carbono de los cementos.

La industria cementera en Argentina tiene una huella de carbono significativa en los tres alcances, con emisiones directas e indirectas relacionadas con la producción de cemento, el uso de electricidad y la cadena de suministro. Las emisiones de alcance 1 en general representan el 75 % de la huella de carbono de la actividad cementera ya que incluyen todas las emisiones que se liberan directamente de las operaciones. La mayoría provienen de la producción de cemento por consumo de combustibles fósiles empleados en los hornos de cemento (aproximadamente 40%) y casi el 60 % de las emisiones se generan durante la descarbonización de las materias primas durante la producción de clinker. Las emisiones de alcance 2, son emisiones indirectas provenientes del uso de energía eléctrica (electricidad comprada y consumida en los equipos controlados o de propiedad de la empresa). Estas representan el 5% de la huella de carbono. Por último, el alcance 3 son emisiones que produce la empresa, pero la propiedad o el control dependen de una organización ajena. Incluye todas las emisiones indirectas generadas en la cadena de suministro, como el transporte de materia prima, combustibles y despacho de productos, así como también el traslado de los empleados o los viajes de negocios. Las emisiones de alcance 3 representan el 20% de la huella de carbono.

Reducir esta huella de carbono requerirá medidas como la mejora de la eficiencia energética, la transición a fuentes de energía renovable, la optimización de procesos y la gestión sostenible de la cadena de suministro.

3.2.5 Emisiones de transporte

La producción de cemento requiere transportes para el suministro de materias primas y combustibles, así como para la distribución de los productos (clinker, cemento, hormigón). En algunos casos, el clinker se traslada a otro lugar para su molienda. Los modos de transporte para suministro o distribución incluyen cintas transportadoras, ferrocarril, vía marítima, vía fluvial y carretera. Si los transportes de los productos los realizan terceros independientes, las emisiones asociadas se califican de indirectas.

El *Protocolo de CO_2 y Energía del Cemento* de la *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) no exige a las empresas que cuantifiquen las emisiones relacionadas con transportes in situ realizados por terceros (vehículos que no son propiedad de la empresa) o con los transportes fuera de las instalaciones, independientemente de si los transportes los realizan terceros o flotas propiedad de la empresa. Sin embargo, el transporte de materiales de construcción tiene un peso significativo dentro de la huella de carbono de una obra de construcción. En un estudio realizado por Gonzáles et al. (2021) se determinó que la distancia promedio entre los principales centros de consumo y las fábricas de cemento en Argentina es de 305 km con un coeficiente de variación del 80%. Esta distancia representativa lleva asociada una huella de carbono de 11 kg CO_2e/t de cemento.

4. ALTERNATIVAS RENOVABLES ANALIZADAS

La industria cementera es uno de los principales sectores emisores de GEI debido al consumo intensivo de energía en la producción de cemento. En este contexto, la incorporación de energías renovables en los procesos de fabricación de materiales de construcción se presenta como una estrategia fundamental para reducir las emisiones de GEI y avanzar hacia un sector más sostenible.
En este estudio se presentan tres alternativas posibles:

- Electrificar procesos térmicos utilizando fuentes de energía solar o eólica mediante contratos de abastecimiento o construcción de parques solares o eólicos dentro del mismo predio de la fábrica cementera. Esta opción conlleva la transformación de hornos a gas a hornos eléctricos, lo que implica un nuevo desafío y paradigma en la industria manufacturera.
- Utilización de combustibles alternativos para reemplazar el coque de petróleo u otros combustibles fósiles intensivamente emisores. En este caso, se propone reemplazar el coque de petróleo por Neumáticos Fuera de Uso (NFU). Esta opción se basa en la premisa de que los NFU poseen un 27% de biomasa en su composición (AFCP, 2020), por lo que sus emisiones GEI son menores y tienen un Poder Calorífico Inferior elevado (ver Tabla 3).
- Reemplazar el gas natural por pellets de residuos forestales cuya combustión es considerada neutra en carbono por ser de origen biogénico.

Durante la investigación de antecedentes para este estudio, se observó que el hidrógeno verde es también una fuente renovable de gran potencial para descarbonizar la industria cementera. Sin embargo, en Argentina existen diversos desafíos que limitan su viabilidad a corto plazo, principalmente los costos elevados de su generación, ya que su producción mediante electrólisis requiere electricidad limpia y abundante, lo que encarece el proceso y la matriz eléctrica argentina aún depende en gran medida de combustibles fósiles. Por otro lado, la infraestructura para el transporte y almacenamiento de hidrógeno verde es incipiente y costosa de desarrollar y las tecnologías que implican su utilización en procesos industriales aún se encuentran en fase de desarrollo y requieren inversiones significativas (Cámara Argentina de Energías Renovables, 2021).

4.1. Electrificación de procesos

La electrificación industrial es un proceso que implica la conversión de los sistemas y procesos industriales tradicionales a soluciones alimentadas por electricidad en lugar de fuentes de energía convencionales como el gas natural o el petróleo. Este cambio hacia la electrificación permite una mayor eficiencia, flexibilidad y control sobre los procesos de producción, al tiempo que reduce la huella de carbono (en el caso de provenir la energía eléctrica de fuentes renovables) y promueve la sostenibilidad.
Una posibilidad de electrificar consumos térmicos es mediante el uso de hornos eléctricos, que son cada vez más demandados en la industria de la fabricación de materiales de construcción, y más frecuentes en otros sectores industriales. Aunque la principal ventaja de su uso es la eliminación por completo de los gases de combustión en la fábrica (y disminución en el sistema de generación considerando que la energía proceda de fuentes renovables), existen en la actualidad algunos inconvenientes para su uso extendido en este sector. Factores como el mayor precio de la electricidad con respecto a los combustibles fósiles, la falta de disponibilidad de equipos eléctricos en el mercado o la limitación de rendimiento de los hornos de producción alimentados únicamente con electricidad son algunos de los más importantes.
La producción de cemento se considera uno de los procesos industriales más difíciles de descarbonizar. Esto se debe a que el 60% de las emisiones de carbono se liberan en el proceso químico de conversión de la piedra caliza ($CaCO_3$) en óxido de calcio (CaO) con generación de CO_2. El otro 40% de las emisiones procede de la combustión de combustibles fósiles durante el proceso de producción. En total, la producción de una tonelada de clinker en una fábrica de cemento moderna puede generar más de 700 kg de CO_2. La electrificación de la producción de cemento con fuentes renovables, como la solar o la eólica, puede reducir sustancialmente las emisiones referidas al uso de combustibles fósiles. Además, los hornos eléctricos deberían tender a ser la norma en las fábricas de cemento de nueva construcción. Una fábrica de cemento con 45 años de antigüedad que está llegando al final de su vida útil puede aprovechar este momento para invertir en tecnologías de electrificación, reemplazando sus hornos de combustibles fósiles por hornos eléctricos. Esto no solo extendería la vida útil de la planta, sino que también reduciría significativamente las emisiones de GEI, cumpliendo con las regulaciones ambientales y mejorando la eficiencia operativa.
Actualmente, existen tecnologías en pruebas de piloto de electrificación muy innovadoras que se podrían adaptar a las plantas de producción existentes como hornos con eje rotativo de alta velocidad que impulsan paletas de rotor, similar a las de una turbina de gas. Estas paletas mueven un gas a alta velocidad, generando calor a través de la fricción. El gas caliente se transfiere luego al material que se

desea calentar. Este tipo de producción de energía térmica se podría utilizar, por ejemplo, en el precalentamiento para la producción de clinker y en la sustitución de los hornos de combustibles fósiles existentes por hornos eléctricos. Los hornos eléctricos son capaces de utilizar electricidad limpia para alcanzar calor necesario en el proceso industrial del cemento con potencial para calentar hasta 1700°C. En resumen, las fuentes de electricidad bajas en carbono son esenciales para seguir descarbonizando la producción de materiales de la construcción y en Argentina hay una gran viabilidad de desarrollar proyectos de energías renovables como la eólica y la solar ya que posee vientos de más de 6 m/s disponibles en el 70% del territorio nacional y más del 50% recibiendo una irradiación solar media anual superior a los 3,5 kWh/m^2 (Cámara Argentina de Energías Renovables, 2021).

4.2. Energía de la biomasa: pellets de residuos forestales

Los pellets de madera son una forma compacta de biomasa producida a partir de residuos forestales (aserrín, virutas, corteza, etc.) que se presentan como una alternativa al gas natural renovable y potencialmente sostenible para la generación de energía térmica. El uso de este tipo de pellets como reemplazo del gas natural en las industrias manufactureras es un área de creciente interés, tanto por sus beneficios ambientales como económicos.

Los pellets tienen una alta densidad energética y bajo contenido de humedad, lo que los hace eficientes para el transporte y la combustión. Por su reducido tamaño y su forma, los pellets pueden ser dosificados a través de sistemas mecánicos o neumáticos y tienden a comportarse como un fluido, dándole la ventaja de ser fáciles de manipular. Las principales ventajas en el uso de pellets están relacionadas principalmente con su reducción significativa de las emisiones GEI en comparación con los combustibles fósiles como el gas natural. En el presente estudio se considera un factor de emisión de 0,02 kg CO_2eq/MJ.

El Poder Calorífico Inferior (PCI) del pellet es uno de los parámetros más importantes a tener en cuenta cuando se utiliza este tipo de combustible para la generación de calor ya que se trata de una medida que indica la cantidad de energía que un pellet puede liberar durante su combustión. En este caso, se toma como referencia un valor para el PCI de 19,23 MJ/kg (Lipsia S.A., 2024) para los pellets que se pueden encontrar en el mercado argentino.

La industria de la fabricación y comercialización de pellets como combustible se encuentra en desarrollo en Argentina y presenta una demanda insatisfecha a nivel internacional. La región de la Mesopotamia argentina es el lugar donde se concentra la industria forestal y maderera del país que podría ser una potencial proveedora de este insumo que, en este caso, utiliza bosques implantados. En nuestro país, la capacidad estimada instalada en al menos 8 empresas productoras de pellets para generación térmica alcanza las 150.000 toneladas de pellets/año (Mesa de Competitividad Foresto Industrial, 2023). A su vez, la meta a 2030 del *Plan Estratégico Forestal y Foresto Industrial de Argentina* propone alcanzar una producción anual de 2,6 millones de toneladas de pellets (20 veces la capacidad instalada actual) lo que implica la instalación de aproximadamente 80 fábricas de pellets. Esta proyección se vuelve interesante cuando se considera que para abastecer las 16 plantas cementeras consideradas en este trabajo se necesitarían casi 1 millón de toneladas de pellets por año. Por lo tanto, más allá de que existen desafíos para aumentar la producción de pellets de residuos forestales a la escala necesaria para reemplazar el gas natural en la industria cementera, las oportunidades potenciales en términos de seguridad energética, sostenibilidad ambiental y desarrollo económico son considerables. La implementación de políticas de apoyo, la inversión en tecnología y la promoción de la conciencia sobre los beneficios de los pellets pueden ser claves para alcanzar este objetivo.

4.3. Combustibles alternativos: Combustión controlada de Neumáticos Fuera de Uso (NFU)

Actualmente, en la industria del cemento, los combustibles alternativos se utilizan como parte del coprocesamiento, donde se sustituye parte del combustible fósil tradicional (como el carbón o el petróleo) por residuos generados por una industria o fuente conocida, como insumo a otro proceso productivo, esto colabora con el actual paradigma de la economía circular. Si se compara con el fuel-oil o el coque de petróleo, se puede considerar a los combustibles alternativos como una opción más económica, aunque siempre se deben considerar los costos de reunirlos y transportarlos, por lo que este aspecto va a depender en gran medida de su disponibilidad geográfica.

En este contexto, una alternativa que se vuelve muy interesante es la valorización energética de los Neumáticos Fuera de Uso (NFU) que, en Argentina, se componen en un 27% de biomasa que proviene del caucho. La combustión del porcentaje de biomasa de los combustibles alternativos se considera neutra en emisiones de CO_2 al ser de origen biogénico, pero sí producirá emisiones de otros GEI como CH_4 y N_2O. En consecuencia, existe la posibilidad de reemplazar los consumos térmicos de las industrias cementeras provenientes del coque de petróleo por NFU. Esto se justifica en primer lugar

porque el coque de petróleo posee un PCI de 32,5 GJ/t, mientras que los NFU poseen un PCI de 36,5 GJ/t. En segundo lugar, si se analizan las emisiones de ambos combustibles, el coque emite 3,18 t CO_2e/kg y los NFU emiten 2,26 t CO_2e/kg. Sin embargo, hacer foco exclusivamente en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero puede llevar a subestimar otros impactos ambientales de la gestión de residuos, como la contaminación del suelo y del agua, la proliferación de vectores de enfermedades y la pérdida de recursos naturales. Por este motivo, una justificación aún más importante para darle este tipo de tratamiento a los NFU es que los neumáticos usados no son biodegradables y son desechos que ocupan mucho espacio, son difíciles de compactar, acopiar y eliminar. Y, si no se manejan adecuadamente, los neumáticos de desecho son el albergue ideal para roedores y criaderos de mosquitos que transmiten enfermedades infecciosas como el dengue y la fiebre amarilla. Otro de los problemas que genera su almacenamiento es la polución del ambiente, por su degradación química, que puede ocasionar peligros de contaminación en los cursos y espejos de agua, el mar, el suelo y el aire. A ello se suma que en ocasiones son quemados o incinerados de forma no controlada para la generación de energía, provocando la emisión de compuestos tóxicos y material particulado nocivos para el entorno, como así también GEI. Por todos estos motivos, en Argentina, el abandono y vertido de neumáticos no autorizado, la quema a cielo abierto y el depósito en rellenos sanitarios de neumáticos enteros son consideradas acciones no ambientalmente racionales, que constituyen un manejo inadecuado, contrarias e incompatibles con las disposiciones de la Ley de Política Ambiental Nacional Nº 25.675 (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2013).

Una consideración de gran importancia a la hora de lograr el aprovechamiento de los NFU como fuente de energía es el adecuado tratamiento de los efluentes gaseosos que se generan en su combustión. Actualmente, es viable utilizar NFU como combustible alternativo en hornos de cemento, en plantas de generación eléctrica y en procesos industriales que posean cámaras de combustión bien diseñadas y acompañadas de un equipo de control de material particulado. Los filtros de mangas y precipitadores electrostáticos son preferibles para el control de partículas emitidas de la quema de combustible derivado de neumáticos ya que permiten seguir cumpliendo con los límites ambientales con emisiones que no difieren significativamente de las de otros combustibles convencionales (EPA, 1997).

Las limitaciones que se encuentran para el desarrollo de esta alternativa son, en primer lugar, de tipo técnico. Se debe tener en cuenta el tiempo de residencia del NFU como combustible, su tamaño y la temperatura de combustión para asegurar la combustión completa de los neumáticos y reducir la emisión de compuestos peligrosos a la atmósfera como dioxinas y furanos. En la Figura 1 se observan datos de emisiones de los hornos de empresas cementeras que participaron en el *Inventario Nacional de Dioxinas* durante el período 2000-2001 correspondientes a 40 mediciones en 20 hornos de plantas de casi toda la geografía española donde se documenta un valor medio de 0,01 ng TEQ Nm^3 (40 primeros puntos). Estos hornos no estaban empleando en esas fechas ningún tipo de residuo como combustibles, mientras que los 6 valores a la derecha de la línea roja corresponden a los valores obtenidos en tres fábricas de cemento estudiadas en España que usaban NFU como combustible alternativo. Los niveles de dioxinas y furanos en las muestras analizadas se encuentran por debajo del límite establecido para las instalaciones, que es de 0,1 ng TEQ por Nm^3 (Rivera & Abad, 2004).

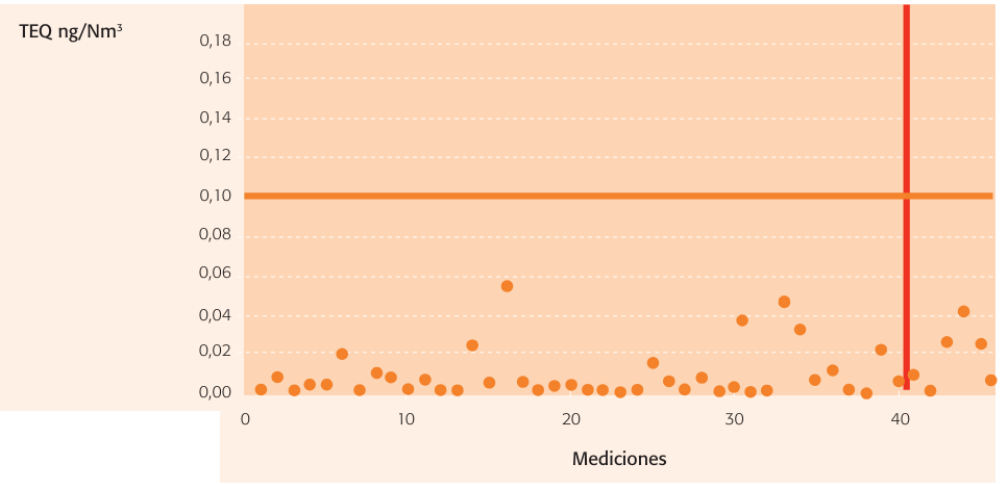


Figura 1 Emisiones de dioxinas y furanos en hornos de cemento en España en los años 2000 y 2001 versus campaña de mediciones con residuos en 2004. Fuente: Rivera & Abad (2004). Nota: TEQ significa Equivalente Tóxico Internacional.

En Argentina se presentó en 2017 un proyecto de ley sobre presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión de los NFU, pero su proceso parlamentario se interrumpió y la ley no fue sancionada. El objetivo de esta norma era reducir la disposición final de NFU y esto promovía la posibilidad de darles un uso energético en las industrias manufactureras en reemplazo de combustibles fósiles.
Otro punto a favor del uso de los NFU como reemplazo de los combustibles fósiles en Argentina es su elevada tasa de generación anual. En un cálculo realizado por la Universidad de Buenos Aires en el año 2020 se obtuvo un valor de 180.000 t/año de NFU. Además, la industria cementera argentina ha declarado que reúne capacidad técnica potencial en cantidad suficiente para brindar una solución ambientalmente segura al 100% de NFU generados en el país, con inversiones de adecuación para la recepción y en los sistemas de almacenamiento y alimentación a los hornos de clinkerización.

5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Con los datos obtenidos de los consumos eléctricos, térmicos y de materias primas, se llevó a cabo un cálculo estimado de la reducción de la Huella de Carbono que tendría lugar con el uso de las tres alternativas energéticas propuestas. Se consideraron en los cálculos los siguientes supuestos:
- Uso de horno rotatorio eléctrico abastecidos con electricidad 100% renovable. Este equipo es el corazón en la producción de cemento convencional y es el que más energía consume durante el proceso, en promedio corresponde al 86% del consumo de combustibles.
- Uso de Neumáticos Fuera de Uso (FE=62 kg CO_2/GJ) como reemplazo del 100% coque de petróleo (FE=98 kg CO_2/GJ) para generación de calor.
- Uso de pellets de residuos forestales (FE=0 kg CO_2/GJ) para generación de calor con la sustitución del 100% del gas natural (FE=56 kg CO_2/GJ) en este caso. También se podrían considerar situaciones combinadas con sustitución parcial que implicaría avanzar en una transición a fuentes de energía más limpias.

En la Tabla 4 se muestran los resultados que se obtendrían al aplicar las alternativas de reducción propuestas.

Tabla 4 Reducción de emisiones GEI según las alternativas propuestas. Fuente: Elaboración propia.

Opción de reducción	Emisiones consumos energéticos iniciales [kgCO_2eq/t]	Emisiones consumos energéticos finales [kgCO_2eq/t]	Emisiones totales de fabricación iniciales [kgCO_2eq/t]	Emisiones totales de fabricación finales [kgCO_2eq/t]	Reducción de Huella de carbono [%]
Horno eléctrico rotatorio con electricidad 100% renovable	209	25	746	562	25
Sustitución de GN por pellets	209	122	746	659	12
Sustitución de coque de petróleo por NFU	209	178	746	715	4

6. CONCLUSIONES

El uso de energías renovables se considera como la principal vía para la reducción de los gases de efecto invernadero, por lo tanto, es de interés ver cómo esta alternativa de reducción se podría aplicar a la producción de cemento. En este estudio se constató que reemplazando el 86% de los consumos térmicos que corresponden al horno rotatorio, por un horno rotatorio eléctrico abastecido de energía renovable, se lograría una reducción de alrededor del 25% de la huella de carbono total del proceso. En el caso del reemplazo del 100% del gas natural por pellets de residuos forestales se obtiene una reducción del 12% de las emisiones totales del proceso. A su vez, en la opción de sustitución del 100% del coque de petróleo por NFU se obtendrían reducciones de la huella de carbono del 4%. En el caso de considerar todas estas alternativas en conjunto se lograría una reducción del 41% de las emisiones GEI en el proceso de fabricación del cemento.
Se puede observar que la vida útil de una fábrica de cemento y la necesidad de invertir en electrificación industrial para disminuir emisiones de GEI están estrechamente relacionadas. A medida que las plantas

cementeras alcanzan el final de su ciclo de vida, surge una oportunidad clave para modernizar equipos y adoptar tecnologías limpias. Invertir en electrificación durante estos ciclos de renovación no solo mejora la eficiencia energética y reduce las emisiones, sino que también permite cumplir con regulaciones ambientales, acceder a incentivos financieros y satisfacer la demanda del mercado por productos sostenibles. Esta estrategia es esencial para la competitividad y la sostenibilidad a largo plazo de la industria.

Con respecto a la electrificación industrial en Argentina, se presentan grandes desafíos a futuro. Para la electrificación de plantas industriales, en principio, no hay infraestructuras ni una red suficientemente desarrollada. Tampoco hay madurez tecnológica acorde. Las restricciones de la infraestructura de transporte de electricidad representan un obstáculo mayor para el cumplimiento del objetivo de consumo de fuentes renovables. La infraestructura de transporte actual solo permite cubrir hasta algo más del 12% de la demanda con fuentes renovables, muy por debajo del objetivo de consumo del 20% para 2025 establecido por la Ley 27.191, Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía. La ampliación de la red de transporte para responder a esta limitación implica desarrollar el sistema de transporte en más de 2.200 km de líneas de alta y muy alta tensión. Podrían ser necesarias líneas de transmisión dedicadas para la industria estudiada, especialmente si las plantas cementeras están localizadas en zonas alejadas de los centros de generación. Esto aseguraría un suministro estable y continuo sin afectar a otros consumidores.

Con el coprocesamiento de los NFU (recuperación híbrida de material y energía) se confiere una solución definitiva y ambientalmente segura para los neumáticos de desecho, se limita la generación de cenizas, reduce el consumo de combustibles fósiles y algunas de las materias primas naturales, evita la disposición en vertederos de residuos y se generan menores emisiones de GEI.

Por otro lado, el uso de pellets de residuos forestales como reemplazo del gas natural en las industrias cementeras en Argentina presenta un potencial significativo para reducir el impacto ambiental del sector, promover la valorización de residuos, mejorar la seguridad energética y generar beneficios económicos. Sin embargo, para materializar este potencial, es necesario abordar los desafíos relacionados con la sostenibilidad de la biomasa, la infraestructura, la adaptación tecnológica y el marco regulatorio. La implementación exitosa de esta alternativa requerirá un esfuerzo conjunto del sector público, privado y la ciencia para promover un desarrollo sostenible y competitivo del sector cementero en Argentina.

Puesto que la producción de cemento, al ser altamente intensiva en el consumo de energía, genera importantes emisiones GEI, contribuyendo fuertemente al cambio climático, es fundamental implementar procesos de producción sostenibles, utilizando fuentes de energía renovables y realizando cambios en los procesos productivos cuando sea necesario. La transición hacia procesos de producción más limpios y sostenibles puede estimular la innovación en la industria, creando nuevas oportunidades comerciales y mejorando la competitividad a largo plazo. Las empresas que lideran la descarbonización pueden estar mejor posicionadas para adaptarse a futuras regulaciones y demandas del mercado.

7. REFERENCIAS

Agencia de Protección Ambiental de EEUU (EPA). (1997). *Emisiones al Aire de la Combustión de Llantas Usadas*. Centro de Información sobre Contaminación de Aire (CICA).

Asociación de Fabricantes de Cemento Portland (AFCP). (2020). *Proyecto de ley S-884/19: Gestión integral post-consumo de Neumáticos Fuera de Uso (NFU).*

Asociación de Fabricantes de Cemento Portland (AFCP). (2022). Indicadores de Sostenibilidad de la Industria Argentina del Cemento: Informe 2022. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. https://afcp.info/SOSTENIBILIDAD/AFCP_Informe_2022_actualizado-baja.pdf

Cámara Argentina de Energías Renovables. (2021). *Energías Renovables en Argentina: Desafíos y Oportunidades en el contexto de la transición energética global*. Diego Calvetti.

Dubrovsky, H., y Nadal, G.; 2019. Informe de diagnóstico del sector cementero. En *Eficiencia Energética en Argentina*. GFA Consulting Group.

González, A., Montero, M. C., Maselli, L., & Rautenberg, D. (2021). Incidencia del transporte en la eco-eficiencia de la producción de hormigón elaborado en Argentina. *Ingenio Tecnológico*, *3*(17). http://portal.amelica.org/ameli/journal/266/2662024007/html/

Gursel, A.P. (2014). *Life-Cycle Assessment of Concrete: Decision-Support Tool and Case Study Application*, Thesis (Doctor of Philosophy in Engineering – Civil and Environmental Engineering), University of California, Berkeley. https://escholarship.org/uc/item/5q24d64s

International Energy Agency (IEA). (2023). *Seguimiento del progreso en materia de energía limpia en 2023: Cemento.* París. https://www.iea.org/energy-system/industry/cement

IPCC. (2006). Capítulo 2: Emisiones de la industria de los minerales. En *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 3: Procesos industriales y uso de productos.*

IPCC. (2017). *Quinto Informe de Evaluación.* Cambridge: Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf

Mesa de Competitividad Foresto Industrial. (2023). *Plan Estratégico Forestal y Foresto Industrial Argentina 2030*. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). *Cuarto Informe Bienal de Actualización (IBA4) de la república argentina a la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático*. Argentina. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2022/01/4to_informe_bienal_de_la_republica_argentina.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2017). *Segundo informe bienal de actualización de la república argentina (IBA2) a la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático: Anexos 1 y 2*. Argentina. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/6784209351ArgentinaBUR212doBURAnexo1y2Argentina.pdf

Lipsia S. A. (2024). Propiedades de los pellets de Lipsia. www.lipsia.com.ar

Pacheco-Torgal, F. et al. (2013) Eco-Efficient Concrete. Woodhead Publishing. Available at: https://www.perlego.com/book/1830037

Rivera, J., & Abad, E. (2004). Combustibles alternativos en la fabricación de cemento: Informe sobre emisiones. *Cemento Hormigón*, *869*, 66-82. https://www.recuperaresiduosencementeras.org/wp-content/uploads/2017/09/Informe-emisiones-CSIC-869-Extra.pdf

Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2013). *Resolución 523/2013: Manejo Sustentable de Neumáticos.* Buenos Aires, Argentina.

World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) & World Resources Institute (WRI). (2004). *Greenhouse Gas Protocol*. https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf

World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). (2011). *The Cement CO_2 and Energy Protocol*: *CO_2 and Energy Accounting and Reporting Standard for the Cement Industry.* Cement Sustainability Initiative (CSI). 3era Ed. Suiza. https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf

"ESTRATEGIA DE EVALUACIÓN POR SIMULACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DE INCORPORACIÓN DE ESQUEMAS DE MULTI-MICRORREDES ELÉCTRICAS EN LAS POLÍTICAS DE CONSUMO INDUSTRIAL"

[1]Loyarte, Ariel; [2]Chezzi, Carlos María

[1]Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional, Centro de I+D en Ing. Eléctrica y Sistemas Energéticos. Lavaise 610 (S3004EWB) Santa Fe, Santa Fe.
aloyarte@frsf.utn.edu.ar.
[2]Facultad Regional Concordia, Universidad Tecnológica Nacional. Grupo de Investigación en Modelado, Simulación y Control. Salta 277, Concordia, Entre Ríos.
carlos_chezzi@frcon.utn.edu.ar.

RESUMEN

Las industrias son grandes consumidores de las empresas distribuidoras de energía eléctrica, con costos que solo pueden ser alterados de acuerdo con estrategias de gestión interna de la demanda y mejoras en aspectos de eficiencia. Una alternativa es la autogeneración con plataformas basadas en multi-microrredes, aisladas, o con posibilidades de intercambio con la compañía distribuidora. Esta perspectiva implica una nueva filosofía de trabajo y una decisión de inversión económica considerable. La simulación en la industria permite comunicar modelos, desarrollar estrategias, aprender sobre la organización y analizar escenarios previos a su implementación. El objetivo de este trabajo es presentar modelos de multi-microrredes eléctricas para la evaluación de estrategias basadas en esquemas de generación de energía a través de la simulación. DEVS es un formalismo que permite diseñar modelos complejos para implementarlos en un lenguaje de simulación, cuya flexibilidad hace propicia su utilización en el contexto de las multi-microrredes. Se presenta un modelo DEVS de multi-microrredes para consumo industrial con el fin de analizar diferentes escenarios que combinan alternativas de diseño. Se simulan para obtener indicadores de operación y económicos, y se analizan para proponer esquemas eficientes. Como resultado del trabajo, se muestra una herramienta informática que permite evaluar plataformas de multi-microrredes previo a su desarrollo.

Palabras Claves: Simulación, DEVS, modelo energético, multi-microrredes eléctricas.

ABSTRACT

Industries are large consumers of electrical energy distribution companies, with costs that can only be altered in accordance with internal demand management strategies and improvements in efficiency aspects. An alternative is self-generation with platforms based on multi-microgrids, isolated, or with exchange possibilities with the distribution company. This perspective implies a new work philosophy and a considerable economic investment decision. Simulation in the industry allows us to communicate models, develop strategies, learn about the organization and analyze scenarios prior to their implementation. The objective of this work is to present multi-electric microgrid models for the evaluation of strategies based on energy generation schemes through simulation. DEVS is a formalism that allows complex models to be designed to be implemented in a simulation language, whose flexibility makes it suitable for use in the context of multi-microgrids. DEVS model of multi-microgrids for industrial consumption is presented in order to analyze different scenarios that combine design alternatives. They are simulated to obtain operating and economic indicators, and analyzed to propose efficient schemes. As a result of the work, a computer tool is shown that allows evaluating multi-microgrid platforms prior to their development.

Keywords: Simulation, DEVS, energy model, electric multi-microgrids.

1. INTRODUCCIÓN

El sector industrial demanda un alto consumo de energía eléctrica, lo cual impacta considerablemente en sus costos de funcionamiento. Una buena proporción de estas industrias corresponde a grandes usuarios del sistema de distribución eléctrica, con potencias asociadas compatibles con la implementación de *microrredes inteligentes*. Esta opción sugiere la eventual incorporación de medios de generación y/o almacenamiento dentro de la industria, como alternativa a la compra de energía eléctrica a las empresas distribuidoras. Se trata de una plataforma capaz de complementar la satisfacción de las necesidades eléctricas, con una nueva visión centrada en recursos energéticos distribuidos, incluyendo fuentes renovables, aumento de la resiliencia del sistema energético, reducción de emisiones, y mejora de las capacidades de generación y autogestión de la energía requerida.

El concepto de “red eléctrica inteligente” (*smart grid*, en inglés) se utiliza para comprender las tecnologías y metodologías circundantes a la evolución de las redes eléctricas, orientadas a su operación eficiente desde un punto de vista técnico y económico (Zou y otros, 2019); son equipadas con capacidades de control y pueden funcionar en forma independiente o conectadas a la red de distribución local. Cuando este enfoque se aplica a redes de reducido alcance, pudiendo destinarse a la autogestión de una industria en particular, la infraestructura resultante es designada como *microrred* (MR).

En este contexto de las capacidades ofrecidas por las MRs, los investigadores analizaron la posibilidad de ampliar su alcance mediante la implementación de sistemas de multi-microrredes (SMMR) (Liu y otros, 2021). Esto es la interconexión entre múltiples MRs, en ocasiones por intermedio de una estación transformadora de acoplamiento, configurando un escenario de mercado energético (Villanueva-Rosario y otros, 2022; Dileep, 2022).

Esta perspectiva de generación propia implica una nueva filosofía de trabajo y una decisión de inversión económica considerable. Por ello, se debe pensar en un plan estratégico de integración de las multi-microrredes y es necesario contar con herramientas que permitan analizar a priori la factibilidad de implementación. El uso de la simulación en la industria permite comunicar modelos, desarrollar estrategias, aprender sobre la organización y analizar escenarios. De este modo, se pueden analizar escenarios, cuyos resultados estiman una aproximación del comportamiento del sistema real según el modelo propuesto.

DEVS (Discrete Event System Specification) es un framework de especificación de modelos para simulación de un sistema de eventos discretos y propone un formalismo que permite diseñar modelos complejos, para implementarlos en un lenguaje de simulación (Palaniappan, Sawhney y Sarjoughian, 2006; Chow y Zeigler, 1994). Además, cuenta con la extensión a DEVS paralelo (Zeigler, 2003), incorporando capacidades de evaluar eventos simultáneos, mientras que con DEVS estocástico (Castro, Kofman y Wainer, 2010) se agregan capacidades para la aleatorización del comportamiento del sistema. La modelización en el framework DEVS se organiza en entidades individuales, llamadas *modelos atómicos*, así como las agrupadas, llamadas *modelos acoplados*. A través de esta estrategia de acoplamientos se construyen modelos sobre la idea de una estructura jerárquica y modular (Van Tendeloo y Vangheluwe, 2017), lo cual posibilita un diseño basado en un enfoque sistémico. La implementación del framework DEVS puede ser realizada en la herramienta de programación DEVSJAVA, la cual consiste en un entorno de simulación DEVS que utiliza el lenguaje Java. DEVSJAVA es una herramienta de simulación cuya principal ventaja es la flexibilidad para la construcción de modelos personalizados de acuerdo con requerimientos específicos de cada problema. Por sus capacidades de programación orientada a objetos, posibilita un entorno de diseño escalable y reusable del código del programa (Zeigler y Sarjoughian, 2003).

DEVS es un formalismo que permite diseñar modelos complejos para implementarlos en un lenguaje de simulación, cuya flexibilidad hace propicia su utilización en el contexto de las multi-microrredes (Jarrah, 2016). Por ello, en este trabajo se aborda el modelado DEVS de multi-microrredes eléctricas, para la evaluación de estrategias de gestión energética a través de la simulación. Se presenta un modelo DEVS de multi-microrredes para consumo industrial con el fin de analizar diferentes escenarios que combinen alternativas de diseño en cuanto a las posibilidades de generación e intercambio energético entre las MRs participantes. Se simulan para obtener indicadores de operación y económicos, y se analizan para proponer esquemas eficientes. Como resultado del trabajo, se muestra

una herramienta informática que permite evaluar plataformas de multi-microrredes previo a su desarrollo.

La sección 2 presenta el modelo DEVS del SMMR y algunos algoritmos de gestión energética que pueden ser contemplados. Por su parte, la sección 3 describe un caso concreto de estudio, para un SMMR integrado por tres industrias de la ciudad de Rafaela, provincia de Santa Fe (Argentina), y se analizan diversos escenarios. Por último, se presentan las conclusiones y trabajos futuros.

2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DEVS DEL SMMR

Para la elaboración del modelo de simulación DEVS del SMMR se pueden considerar dos pasos fundamentales: (i) la identificación del modelo base que comprende los componentes y sus relaciones, y (ii) la implementación del modelo en el lenguaje de simulación DEVSJAVA, en la cual se programan las componentes atómicas y sus acoplamientos (Loyarte, Chezzi y Tumoschuk, 2022).

2.1. Modelo base.

El modelo que representa el SMMR consiste en la interconexión entre múltiples MRs, configurando un escenario de mercado energético. La Figura 1 esquematiza el sistema basado en MRs interpretadas como *modelos atómicos*, es decir, un bloque que puede reutilizarse para modelar un SMMR con un número seleccionable de redes participantes. La lógica de gestión de recursos de una MR es aplicada por un controlador global (CG), a lo que se adiciona un modelo atómico que representa un controlador global externo (CGE), cuya semántica se desarrolla con el fin de monitorear y garantizar el cumplimiento de las reglas establecidas para el mercado eléctrico. De este modo, se obtiene un modelo en donde cada MR realiza la gestión interna de sus recursos y un CGE responsable de las transacciones de intercambio energético.

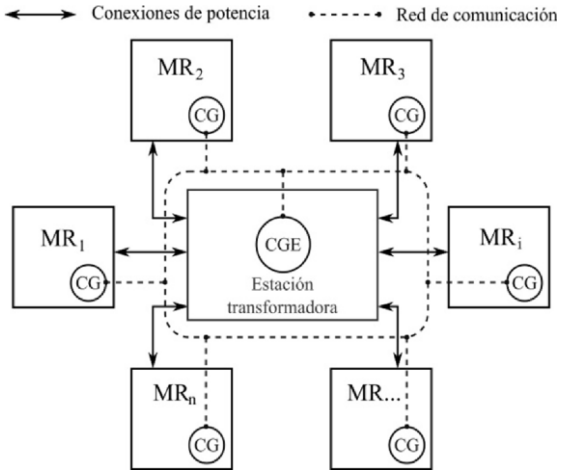


Figura 1 Modelo Base de un SMMR.

2.2. Modelo DEVSJAJA.

El modelo DEVS propuesto se implementa en la herramienta DEVSJAVA y su representación se muestra en la Figura 2. En la ventana del simulador, *SimView*, se observan dos modelos acoplados formados por el conjunto de MRs y el *marco de experimentación*.

El modelo acoplado “Marco de Experimentación” está compuesto por los modelos atómicos:

- “Generador de eventos”: emite eventos que representan cambios en la demanda de las MRs. Se utiliza a modo de excitación del sistema.
- “Aceptor”: detiene la simulación cuando se completan los eventos previstos o cuando se producen fallos numéricos.
- “Transductor”: recibe actualizaciones de variables internas del modelo (potencias y costos) para registrarlos ordenadamente en archivos de salida de la simulación.

Por su parte, el modelo acoplado “Modelo de Consumo Energético” está formado por tantos modelos atómicos como microrredes se incluyan en el sistema (MRi, con i = 1 a 5 en el caso ejemplificado en la Figura 2).

Las métricas de salida de la simulación pueden ser visualizadas posteriormente con una herramienta Web diseñada a tal efecto, presentando los resultados más destacados, entre los cuales se incluyen registros de potencias generadas, intercambiadas y costos asociados.

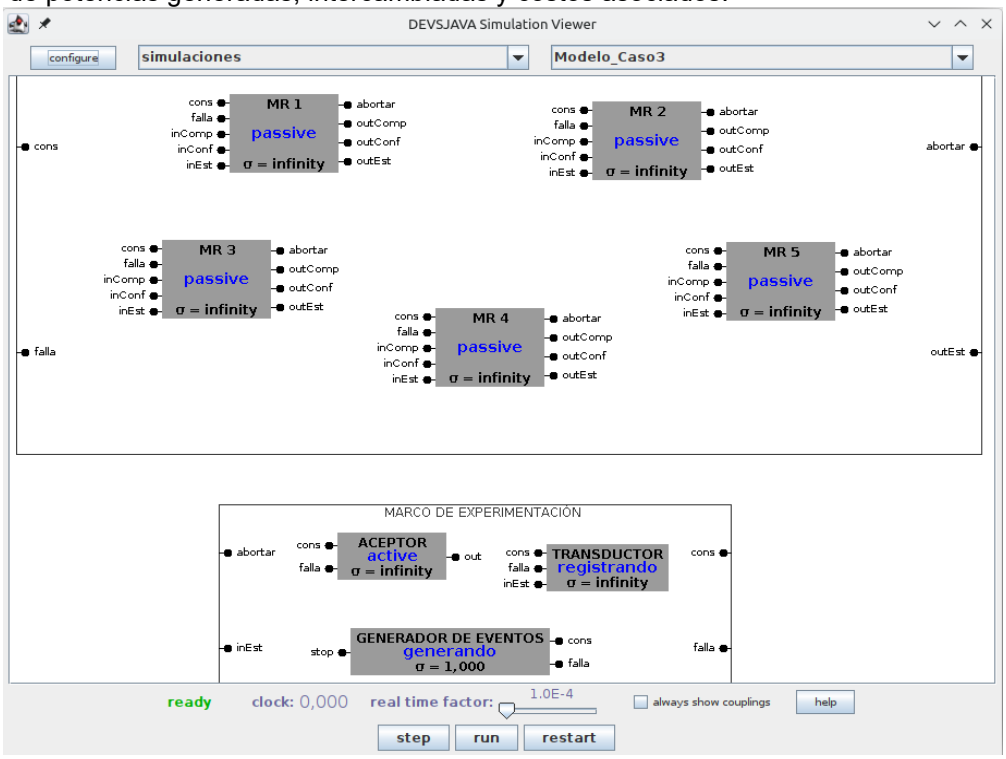


Figura 2: Ventana del simulador DEVSJAVA del modelo DEVS SMMR (SimView).

2.3. Gestión de recursos energéticos en el SMMR.

La plataforma de simulación desarrollada admite personalizar los algoritmos de gestión energética, tanto de los CGs (lógica operativa interna de cada MR), como del CGE (reglas del mercado de intercambio). En este contexto, el costo de operación C_k (en USD/h) para el *k*-ésimo generador térmico convencional en una MR (por ej., accionado por un motor diésel) suele modelarse como un polinomio de segundo grado en la potencia $P_{g,k}$ erogada, con coeficientes a_k, b_k y c_k, según:

$$C_k = a_k \cdot P_{g,k}^2 + b_k \cdot P_{g,k} + c_k \qquad (1)$$

Luego, la operación de una MR funcionando en *modo isla*, implicaría autoabastecerse, por ejemplo, minimizando el costo operativo instantáneo global C_{global} (en USD/h) que comprende a la totalidad de generadores disponibles. Si el análisis se aplica para simular un día de operación, discretizado en escalones de 1 hora, el problema implicará un cálculo de despacho horario de generadores, para el cual se resuelve el siguiente problema de optimización:

$$\min_{P_{g,k}} \quad C_{global} = \sum_{k=1}^{NG} C_k\left(P_{g,k}\right) \qquad (2)$$

sujeto a:

$$\sum_{k=1}^{NG} P_{g,k} = 1{,}015 \cdot P_d \qquad (3)$$

$$0 \leqslant P_{g,k} \leqslant P_{k,\max} \quad ; \quad k = \{1, 2, \cdots, NG\} \qquad (4)$$

donde *NG* es el número de generadores térmicos incluidos, con capacidades máximas denotadas por $P_{k,\max}$ en la restricción de la Ecuación (4). La Ecuación (3) representa el balance entre las potencias despachadas y la demanda P_d, asumiendo pérdidas estimadas del 1,5% del consumo, en razón de los cortos trayectos de distribución que se presentan en el interior de una MR de alcance industrial.

Pudo comprobarse que el problema de las Ecuaciones (2) a (4) se resuelve satisfactoriamente mediante programación cuadrática, utilizando un método OSQP (Operator Splitting Quadratic Program) (Stellato

y otros., 2020), por intermedio de la librería CVXPY para el lenguaje Python (Diamond y Boyd, 2016), demostrando buenas condiciones de convergencia.

Si por el contrario, se habilita la compra-venta de energía entre MRs (*modo interconectado*), las decisiones de gestión responden no sólo al despacho de generadores, sino también a las potencias que se pretenden importar desde las MRs vecinas. Para ello, se contempla que el costo de compra de potencia puede modelarse a partir de un polinomio de segundo grado, análogo al utilizado en la Ecuación (1), de modo que la importación desde una MR externa es interpretada como el uso de un generador equivalente. Siendo $P^{(m)}_{imp,r}$ la potencia importada por la *m*-ésima MR desde la *r*-ésima, el costo horario $f_{imp,r}$ de la transacción (en USD/h) puede definirse, según Loyarte (2020), como:

$$f_{imp,r} = A_r \cdot \left(P^{(m)}_{imp,r}\right)^2 + B_r \cdot P^{(m)}_{imp,r} \qquad (5)$$

donde los coeficientes A_r y B_r son variantes, puesto que dependen de la capacidad remanente de exportación $G_{exp,r}$ de la MR vendedora al momento de solicitar la compra, y de sus costos marginales de generación. Para mayores detalles sobre el cálculo y actualización de dichos parámetros durante la simulación, se puede consultar el trabajo de Loyarte (2020). Es de notar que la plataforma de simulación se encuentra programada para actualizar, durante la simulación, los parámetros A_r, B_r y $G_{exp,r}$.

Luego, si *N* es la cantidad total de MRs, la *m*-ésima decide por las potencias de generación interna y de importación, minimizando el costo operativo instantáneo total $CT^{(m)}$, definido según:

$$CT^{(m)} = \sum_{k=1}^{NG(m)} C_k^{(m)}(P_{g,k}^{(m)}) + \sum_{\substack{r=1 \\ r\neq m}}^{N} f_{imp,r}\left(P_{imp,r}^{(m)}\right) \qquad (6)$$

con $P_{g,k}^{(m)}$ la potencia despachada en su *k*-ésimo generador térmico entre los *NG(m)* disponibles.

Finalmente, la gestión económica de la MR *m* en el SMMR se obtiene resolviendo el siguiente problema de optimización:

$$\underset{P_{g,k}^{(m)};\ P_{imp,r}^{(m)}}{\mathbf{min}} \quad CT^{(m)} \qquad (7)$$

$$k = \{1, 2, \dots, NG(m)\} \ \ ; \ \ r = \{1, 2, \dots, N\} \ \wedge \ r \neq m$$

sujeto a:

$$\sum_{k=1}^{NG(m)} P_{g,k}^{(m)} + \sum_{r=1}^{N} P_{imp,r}^{(m)} = 1{,}015 \cdot P_d^{(m)} + P_{exp}^{(m)} \ \ ; \ \ r \neq m \qquad (8)$$

$$0 \leqslant P_{g,k}^{(m)} \leqslant P_{g,\max}^{(m)} \ \ ; \ \ k = \{1, 2, \cdots, NG(m)\} \qquad (9)$$

$$0 \leqslant P_{imp,r}^{(m)} \leqslant G_{exp,r} \ \ ; \ \ r = \{1, 2, \dots, N\} \ \wedge \ r \neq m \qquad (10)$$

La Ecuación (8) corresponde al balance de potencias, incluyendo la generación e importación en el primer miembro, y la demanda (más pérdidas) y compromisos de exportación $P_{exp}^{(m)}$ en el segundo miembro. La cantidad $P_{exp}^{(m)}$ corresponde a la potencia total que es exportada (vendida) por la MR *m*, de acuerdo con las compras solicitadas por las restantes participantes.

Por su parte, las Ecuaciones (9) y (10) limitan, respectivamente, a las potencias entregadas por los generadores y a las importadas. El método OSQP también demostró ser eficaz para resolver este planteo.

En caso de incluir generación no gestionable, como pequeños parques fotovoltaicos, cuyo desempeño depende exclusivamente de condiciones climatológicas, la simulación del SMMR puede realizarse manteniendo el criterio económico de gestión de las Ecuaciones (7) a (10), pero modificando la restricción de balance de la Ecuación (8), para incluir la producción fotovoltaica $P_{FV}^{(m)}$ (de la *m*-ésima MR), resultando:

$$\sum_{k=1}^{NG(m)} P_{g,k}^{(m)} + \sum_{r=1}^{N} P_{imp,r}^{(m)} + P_{FV}^{(m)} = 1{,}015 \cdot P_d^{(m)} + P_{exp}^{(m)} \ \ ; \ \ r \neq m \qquad (12)$$

3. RESULTADOS

3.1. Caso de estudio.

Utilizando la plataforma de simulación implementada, y a los efectos de evaluar su utilidad, se contempla el caso de tres industrias radicadas en la ciudad de Rafaela, provincia de Santa Fe (Argentina), y que por motivo de sus características de demanda y extensión pueden ser consideradas MRs de gestión independiente. Actualmente, las empresas consumen la energía eléctrica provista por la empresa de distribución local (Empresa Provincial de la Energía, EPE), que proveyó la información para realizar las simulaciones. No obstante, en los apartados siguientes se evalúa el desempeño de dichas industrias como MRs que incluyen generación propia, incorporando generadores accionados por motores diésel y generadores fotovoltaicos no gestionables. En tales condiciones, se aplican los algoritmos de gestión presentados en la sección 2.3, utilizándose la estructura de red de la EPE meramente como medio de intercambio de energía entre las MRs.

En primer lugar, se evalúa el funcionamiento de cada MR en *modo isla*, sin importaciones o exportaciones. Esta condición es simulada fundamentalmente por razones de comparación frente a los siguientes escenarios, que contemplan el *modo interconectado*.

Para las 3 industrias, la EPE reporta los consumos ilustrados en la Figura 3, que corresponden a demandas horarias de potencia para un día típico (24 hs). Los datos señalan el consumo de un día de verano y otro de invierno, exhibidos para contrastar y evaluar diferencias por comportamientos estacionales. Se incluye el detalle de potencias medias (diarias) y el coeficiente de variación porcentual (CV), computado para ponderar la variabilidad en el consumo de cada industria.

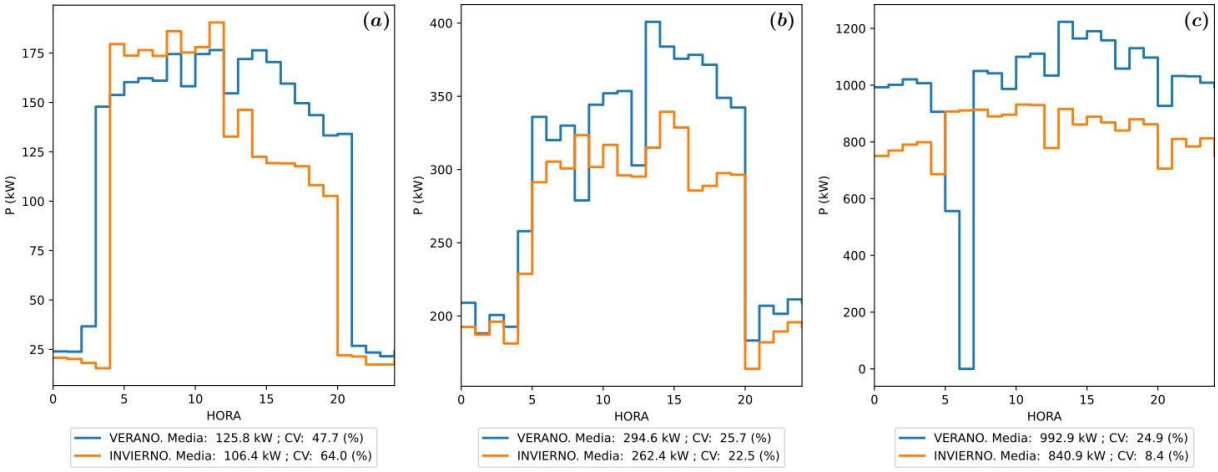


Figura 3 Demandas para un día de verano y otro de invierno. **(a)** *Industria 1;* **(b)** *Industria 2;* **(c)** *Industria 3.*

La industria 1 presenta demandas pico en verano e invierno, respectivamente, de 176,5 kW y 190,5 kW, mientras que en la industria 2 ascienden, respectivamente, a 400,8 kW y 339,4 kW, y en la industria 3 a 1223,3 kW y 931,4 kW. Mientras las industrias 1 y 2 presentan picos de verano superiores a los de invierno, en la industria 3 ocurre a la inversa. No obstante, en todos los casos la potencia media de invierno es inferior a la de verano. El consumo medio de invierno representa varía entre un 84,5% y 89,0% del correspondiente al verano, según la industria. Asimismo, presentan consumos de base (mínimos):

- Poco significativo para la industria 1, en torno a los 15 kW (8,5% del pico).
- Significativo para la industria 2, alrededor de 165 kW (41,3% del pico).
- Muy significativo para la industria 3, cercano a los 700 kW (57,2% del pico).

El horario habitual de trabajo, cuando el consumo crece significativamente sobre la demanda base, difiere según la industria:

- Para la industria 1, en verano es de 3 a.m. hasta 9 p.m. (18 hs en total), mientras que en invierno es de 4 a.m. hasta 8 p.m. (16 hs en total).
- Para la industria 2, tanto en verano como invierno se maneja un horario de 4 a.m. hasta 8 p.m. (16 hs en total).
- Para la industria 3, en cambio, el funcionamiento es continuado durante las 24 hs.

Como se observa en la Figura 3, la industria 3 reporta una falla en el suministro visibilizada en la curva de verano, y cuya duración se extiende por 2 hs desde la hora 5 a.m. Durante la primera hora, su consumo se reduce abruptamente, mientras que durante la segunda el corte es total.

Por otra parte, la demanda es más estable en la industria 3, con un CV de 24,9% para verano (afectada por el corte de suministro) y 8,4% para invierno. En la industria 1, se reporta 47,7% para verano y 64,0% para invierno; mientras que en la industria 2, los registros son similares para verano e invierno, de 25,7% y 22,5%, respectivamente.

Del análisis anterior, se concluye en múltiples diferencias en cuanto al comportamiento de cada MR en aspectos de consumo; razón por la cual, la incorporación de generadores implica respuestas en las decisiones de despacho también diferentes y que tornan al estudio del SMMR aún más atractivo. La Tabla 1 resume las características de los generadores diésel incorporados, con coeficientes de costo obtenidos a partir de la información de consumo reportada por los fabricantes, considerando un precio internacional para el litro del combustible diésel.

Tabla 1 Generadores diésel incorporados a las MRs (caso de estudio).

$a \cdot 10^4$ (*)	b (*)	c (*)	P_{max} (kW)	MRs (industrias) que lo incluyen
1,680	0,21437	11,660	320	1 y 3
1,194	0,23710	15,540	320	1, 2 y 3
0,470	0,23759	28,583	680	2 y 3

(*) Coeficientes de costos para la potencia generada en *kilowatt*.

3.2. Operación aislada de las microrredes.

Ejecutadas las simulaciones con el problema de las Ecuaciones (2) a (4) para el *modo isla*, los resultados de la Figura 4 muestran la evolución horaria del C_{global} optimizado (C_{min}) para cada industria y estación. Por su parte, las Figuras 5 y 6 muestran el despacho interno de los generadores.

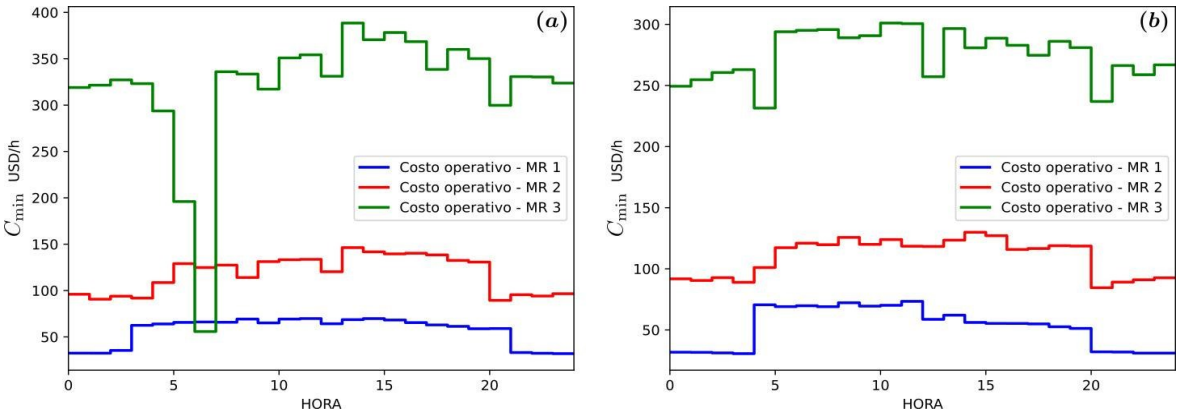


Figura 4 Costo operativo global optimizado por MR y estación en modo isla. **(a)** *verano;* **(b)** *invierno.*

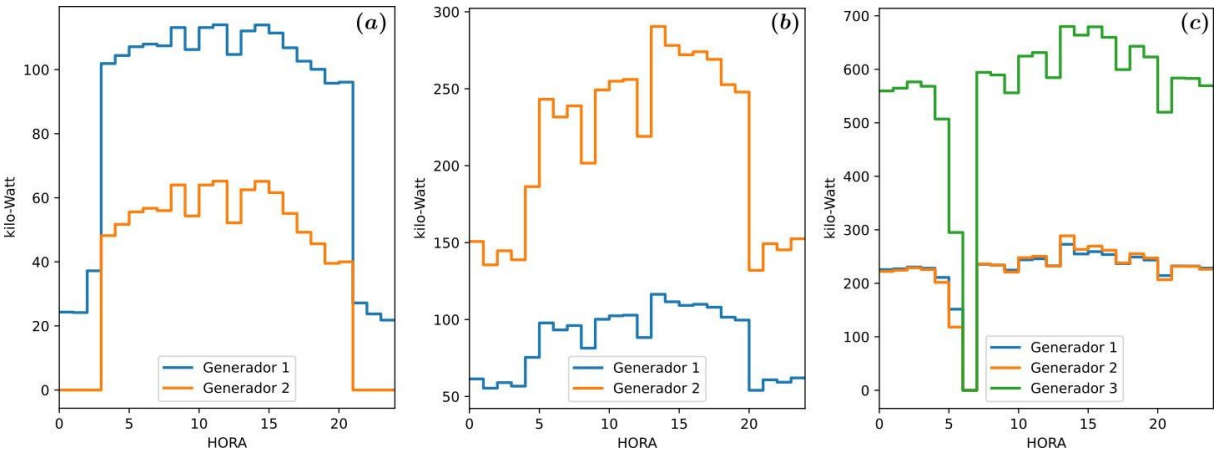


Figura 5 Despacho de generadores para verano en modo isla. **(a)** *Industria 1;* **(b)** *Industria 2;* **(c)** *Industria 3.*

En estas condiciones, cada MR se autoabastece. En la MR 1, el generador 1 se advierte más económico para las potencias requeridas, detectándose incluso franjas horarias en las cuales el generador 2 (más costoso) no es utilizado. Algo similar ocurre en la MR 2, aunque en este caso la distribución más económica de potencias requiere utilizar siempre ambos generadores. Para la industria 3, con 3 generadores, ocurre algo parecido, sin presentarse grandes diferencias entre los despachos de los generadores 1 y 2. Los costos asociados, según la Figura 4, se mantienen en rangos similares para las industrias 1 y 2, cuando se comparan los escenarios de verano e invierno; mientras en la industria 3 se percibe una reducción significativa de los costos de operación en invierno, motivada por un evidente menor consumo.

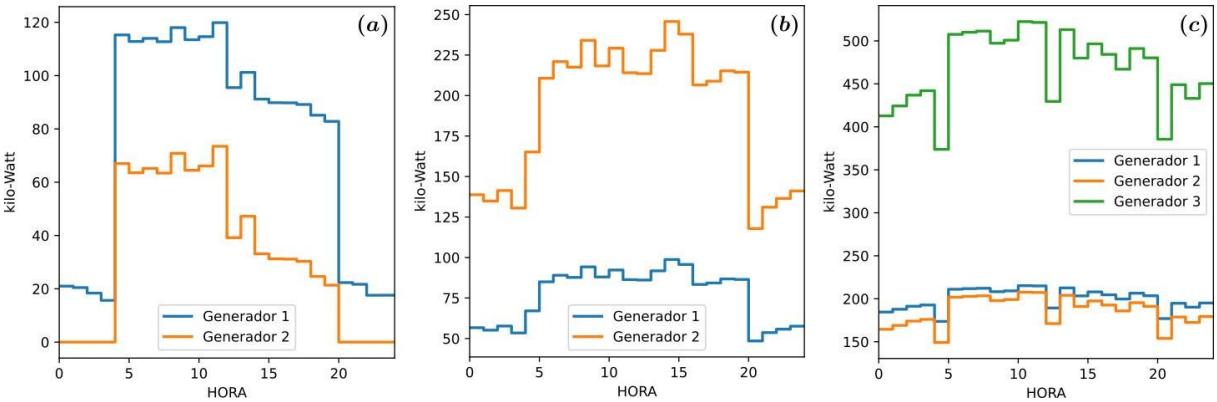


Figura 6 Despacho de generadores para invierno en modo isla. **(a)** *Industria 1;* **(b)** *Industria 2;* **(c)** *Industria 3.*

3.3. Multi-microrred con intercambios de compra-venta.

Planteado el escenario de compra-venta según el problema de las Ecuaciones () a (), se obtienen los resultados de las Figuras 7 a 9.

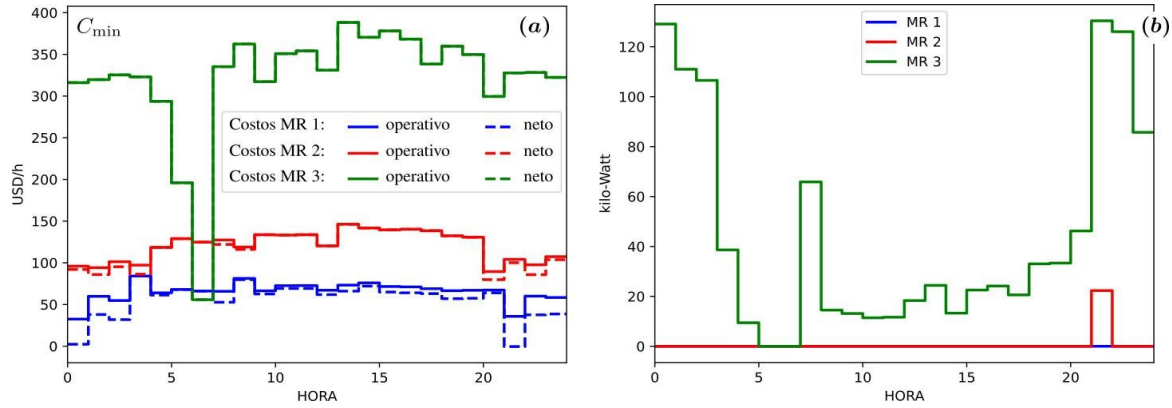


Figura 7 Operación por MR en verano (modo interconectado). **(a)** *Costos operativos y netos;* **(b)** *Importaciones.*

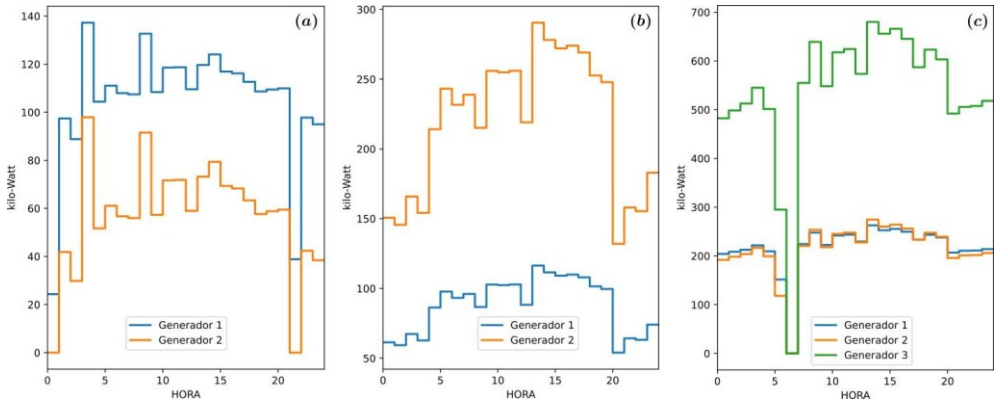


Figura 8 Generación para verano en modo interconectado. **(a)** *Industria 1;* **(b)** *Industria 2;* **(c)** *Industria 3.*

Las Figuras 7a y 9a señalan, respectivamente para verano e invierno, la evolución del costo operativo instantáneo C_{min}, optimizando el indicador $CT^{(m)}$ de la Ecuación (6). No obstante, también muestran, en línea de trazos cortos, el costo operativo neto, que descuenta los ingresos por venta.

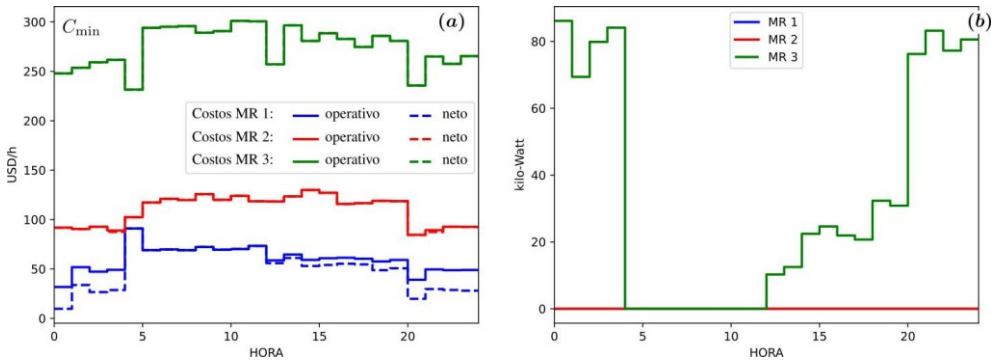


Figura 9 Operación por MR en invierno (modo interconectado). **(a)** *Costos operativos y netos;* **(b)** *Importaciones.*

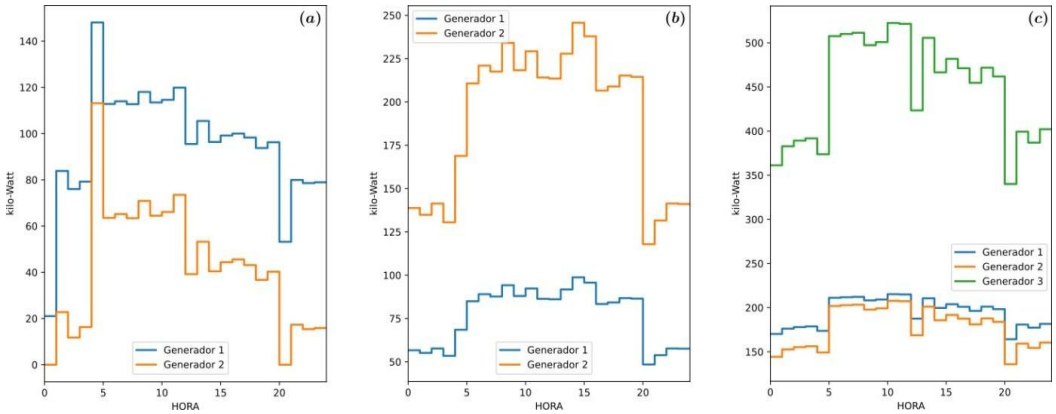


Figura 10 Generación para invierno en modo interconectado. **(a)** *Industria 1;* **(b)** *Industria 2;* **(c)** *Industria 3.*

En estas condiciones, cada MR se autoabastece. En la MR 1, el generador 1 se advierte más económico para las potencias requeridas, detectándose incluso franjas horarias en las cuales el generador 2 (más costoso) no es utilizado. Algo similar ocurre en la MR 2, aunque en este caso la distribución más económica de potencias requiere utilizar siempre ambos generadores. Para la industria 3, con 3 generadores, ocurre algo parecido, sin presentarse grandes diferencias entre los despachos de los generadores 1 y 2. Los costos asociados, según la Figura 4, se mantienen en rangos similares para las industrias 1 y 2, cuando se comparan los escenarios de verano e invierno; mientras en la industria 3 se percibe una reducción significativa de los costos de operación en invierno, motivada por un evidente menor consumo.

Según se observa en las Figuras 7b y 9b, las importaciones de la MR 3 se realizan fundamentalmente (aunque no exclusivamente) en horarios no laborales de las industrias 1 y 2. Esto responde a que, en dichas franjas horarias, éstas operan con baja demanda (y baja generación), lo que reduce los costos operativos marginales e incrementa la potencia disponible ofrecida al mercado. Estos factores conducen a una reducción de los costos de venta, que resultan convenientes para compras de la industria 3. La situación también se ve motivada por una demanda aproximadamente uniforme a lo largo del día en la MR 3. De acuerdo con las Figuras 8 y 10, las importaciones de la MR 3 se utilizan mayormente para desplazar potencia erogada por el generador 3 (el de mayor potencia), cuando se comparan los resultados con la condición de funcionamiento en isla (Figura 6).

3.4. SMMR con generación fotovoltaica no gestionable.

Para evaluar el comportamiento del SMMR con generación no gestionable, se incorporaron en las tres industrias sendas instalaciones solares fotovoltaicas. Para ello, se consideraron potencias nominales (P_{nom}) de 50 kW, 250 kW y 400 kW para las industrias 1 a 3, respectivamente. Utilizando módulos solares de última tecnología de la marca CanadianSolar, que reportan coeficientes de potencia-temperatura (k_p) del orden de -0,0034 1/°C (por ej., en el modelo BiHiKu7 - 670MBAG), la potencia P_{FV} entregada puede estimarse según (Mohamed, 2008):

$$P_{FV} = P_{nom} \cdot \frac{G}{G_{std}} \cdot \left[1 + k_p \cdot (T - T_r)\right] \cdot \eta \qquad (11)$$

donde G es la irradiancia total incidente en la superficie de los paneles (en W/m^2), G_{std} es la *irradiancia estándar* (1000 W/m^2), T (en °C) es la temperatura de las celdas (en este estudio, aproximada a la temperatura ambiente), T_r es la temperatura de referencia estandarizada (25 °C) y η es el rendimiento global de la instalación. En base a datos meteorológicos para G y T en la ciudad de Rafaela se estimaron las potencias fotovoltaicas, considerando un rendimiento habitual η=0,85. La Ecuación (11) obtiene resultados aproximados de la producción fotovoltaica cuando se utiliza un controlador que maximiza la generación. La Figura 11 muestra la producción fotovoltaica para las simulaciones en los escenarios de verano e invierno, expresadas por unidad de la potencia nominal (en *kilowatt*). Es decir, multiplicando cada curva por el factor 50 kW, 250 kW y 400 kW, se obtiene, respectivamente, la potencia fotovoltaica generada en las industrias 1 a 3.

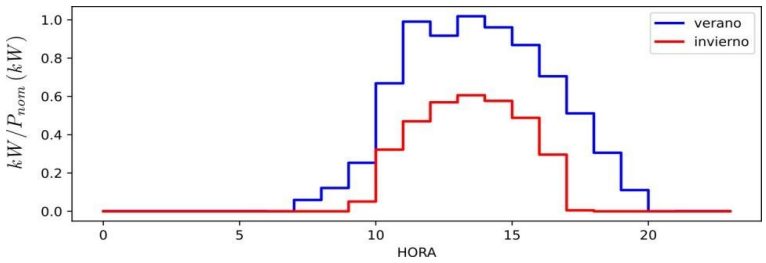


Figura 11 Producción fotovoltaica diaria para los casos simulados.

Con el ajuste propuesto en el balance de la Ecuación (12), las simulaciones arrojan los resultados de las Figuras 12 a 15. La potencia fotovoltaica tiende a disminuir los costos operativos medios y altera las condiciones de competencia. Por caso, la proporción entre costos netos y operativos mejora para las MRs 1 y 2 en verano, pero no es beneficiosa para la MR 2 en invierno (reduce su proporción de ingresos por venta). Podría concluirse que la demanda efectiva en la MR 3 se reduce motivo de la compensación parcial de la producción fotovoltaica. Luego, las necesidades energéticas de la MR 3 corresponden a potencias inferiores, cuando se compara este escenario con las simulaciones anteriores, y la optimización económica indica comprar mayormente a la MR 1.

Asimismo, se observa que la variabilidad de la producción fotovoltaica se traslada a las potencias despachadas en los generadores diésel (Figuras 13 y 15), por razones de balance energético. En general, esta situación es contraproducente, dado que complejiza los mecanismos de estabilización de las tarifas para los usuarios. Se destaca, además, que la variabilidad fotovoltaica puede ser sustancialmente mayor cuando los pasos de cálculo horario se suplantan por pasos más breves, del orden del minuto. Compensar estos efectos implicaría usar sistemas de almacenamiento de energía.

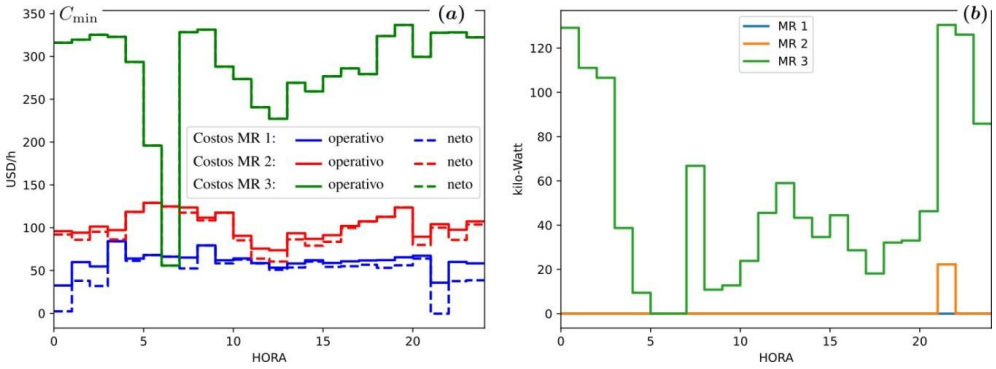


Figura 12 Operación en verano con generación fotovoltaica. **(a)** *Costos operativos y netos;* **(b)** *Importaciones.*

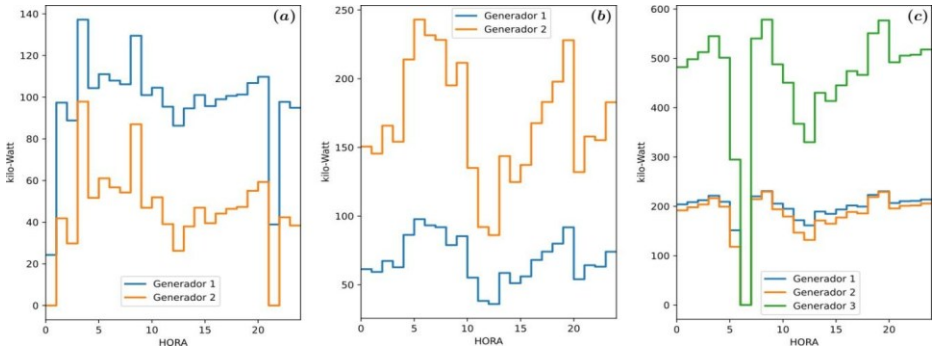


Figura 13 Despacho en verano con generación fotovoltaica. **(a)** *Industria 1;* **(b)** *Industria 2;* **(c)** *Industria 3.*

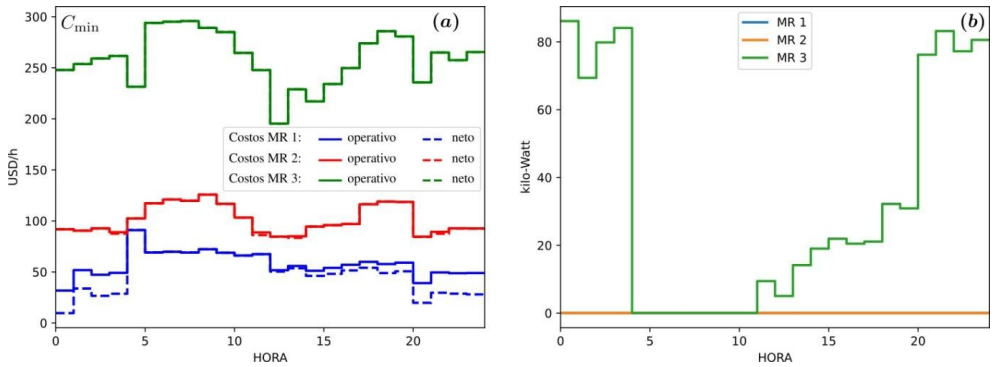


Figura 14 Operación en invierno con generación fotovoltaica. **(a)** *Costos operativos y netos;* **(b)** *Importaciones.*

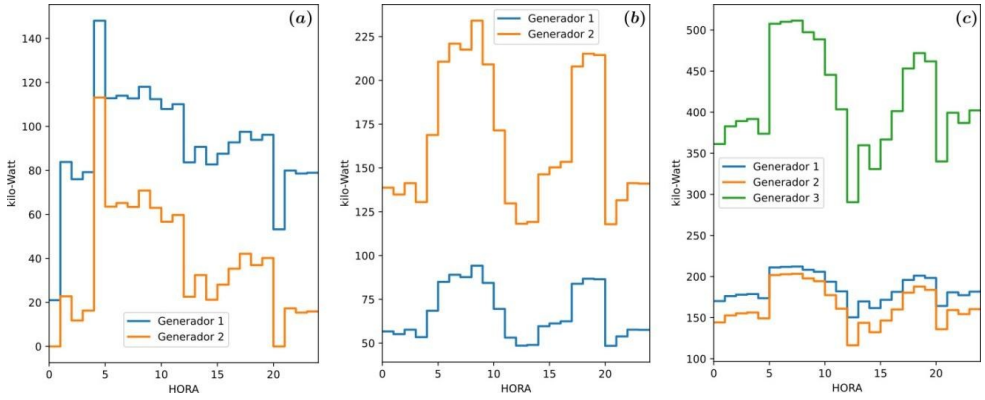


Figura 15 Despacho en invierno con generación fotovoltaica. **(a)** *Industria 1;* **(b)** *Industria 2;* **(c)** *Industria 3.*

3.5. Indicadores globales de costo para escenarios de simulación.

A los efectos de contrastar los casos simulados y analizar la conveniencia del intercambio entre MRs, la Tabla 2 muestra el costo neto medio diario (en USD/h) para cada red y escenario, en condiciones de verano e invierno. Las MRs que son mayormente vendedoras (1 y 2) reducen sus costos netos a raíz de las ventas, aún cuando esto supone incrementar la generación (y por ende, un mayor costo de producción energética). No obstante, esta característica no siempre se cumple para MRs netamente compradoras, como la MR 3. Sin embargo, es de notar que la industria 3 no percibe grandes variaciones por efecto puro de las transacciones. Estos resultados pueden deberse al modelo de gestión de las Ecuaciones (7) a (10), que toma decisiones de acuerdo con la demanda y costos instantáneos, sin contemplar evoluciones históricas, ni proyecciones de consumos y costos futuros. Estos agregados podrían mejorar sustancialmente el desempeño económico de la MR. Por otro lado, se advierte que, independientemente de los resultados exhibidos por la Tabla 2, el SMMR mejora las condiciones de seguridad en el abastecimiento de la demanda, puesto que a la capacidad de generación interna de una MR debe añadirse la disponible en el mercado.

Tabla 2 Costos netos medios (diarios) para los casos simulados, en USD/h.

MR	MRs aisladas		MRs interconectadas (sólo gen. diésel)		MRs interconectadas (gen. diésel y fotovolt.)	
	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno
1	57,24	52,55	55,49	50,94	51,77	49,24
2	118,33	109,88	117,92	109,87	97,77	100,88
3	320,78	275,10	321,32	274,60	284,46	258,92

4. CONCLUSIONES

La herramienta informática diseñada destaca por su versatilidad, en tanto permite adecuar los criterios de gestión de recursos y las políticas o reglas de intercambio energético, siendo aplicable para cualquier número de MRs. Destaca, fundamentalmente, por admitir simulaciones con interacciones complejas, que implican la resolución secuencial y ordenada de problemas de optimización que, además, se encuentran acoplados en virtud de influir en los precios del mercado. Disponer de herramientas como

la aquí presentada es importante para evaluar el desempeño técnico y económico de SMMRs previo a su implementación física real, facilitando conclusiones de relevancia que pueden ayudar a direccionar el diseño del sistema. Asimismo, se observa que pequeños cambios en la formulación de los algoritmos de gestión pueden conducir a resultados diferentes producto de las interacciones, pero que pueden resolverse rápidamente en la plataforma de simulación.

Por otro lado, el framework DEVS demuestra su validez como herramienta de simulación general y, en particular, se valora el tratamiento de eventos simultáneos habituales en sistemas eléctricos, como cambios en los consumos de las MRs y solicitudes de compra en el mercado.

A futuro, se prevé evaluar casos de simulación más complejos, que impliquen la incorporación de sistemas de almacenamiento de energía (complejizando la lógica de gestión por requerir analizar un horizonte temporal con proyecciones), y la posibilidad de que la operación de cada MR se realice a partir de una lógica individual, que pueda no ser idéntica a la utilizada por otras en el sistema.

5. REFERENCIAS

Castro, R., Kofman, E. and Wainer, G. (2010). A Formal Framework for Stochastic Discrete Event System Specification Modeling and Simulation". Simulation, 86, 10.

Chow, A. and Zeigler, B. (1994). Parallel DEVS: A parallel, hierarchical, modular modeling formalism". In Proc Winter Simulation Conference Proceedings, IEEE.

Diamond, S., & Boyd, S. (2016). CVXPY: A Python-embedded modeling language for convex optimization. Journal of Machine Learning Research, 17(83), 1-5.

Dileep, G. (2022). A survey on smart grid technologies and applications. Renewable Energy, 146, 2589-2625.

Jarrah, M. (2016). Modeling and simulation of renewable energy sources in smart grid using DEVS formalism. Procedia Computer Science, 83, 642-647.

Liu, Y.; Wang, Y.; Li, Y.; Gooi, H.B.; Xin, H. (2021). Multi-agent based optimal scheduling and trading for multi-microgrids integrated with urban transportation networks. IEEE Transactions on Power Systems, 36(3), 2197-2210.

Loyarte, A,. Chezzi, C. M. y Tymoschuk, A. R. (2022). Simulación distribuida de un esquema de multi-microrredes eléctricas. 6º Congreso Argentino de Ingeniería, 12º Congreso de Enseñanza de la Ingeniería (CADI CAEDI).

Loyarte, A. S. (2020) Modelado, Optimización y Gestión de Micro-Redes Eléctricas. Operatorias en los Modos Isla e Interconectado [Tesis de Doctorado, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina].

Mohamed, F. A. (2008) Microgrid Modelling and Online Management [Tesis de Doctorado, Helsinki University of Technology, Finland].

Palaniappan, S., Sawhney, A. and Sarjoughian, H. S. (2006). Application of the DEVS Framework in Construction Simulation". In Proc. of the 2006 Winter Simulation Conference, pp. 2077 –2086, IEEE

Stellato, B., Banjac, G., Goulart, P., Bemporad, A., & Boyd, S. (2020). OSQP: An operator splitting solver for quadratic programs. Mathematical Programming Computation, 12(4), 637-672.

Van Tendeloo, Yentl and Vangheluwe, Hans. (2017). An evaluation of DEVS simulation tools. Simulation, 93, 2, pp.103-121, ACM.

Villanueva-Rosario, J.A.; Santos-García, F.; Aybar-Mejía, M.E.; Mendoza-Araya, P.; Molina-García, A. (2022). Coordinated ancillary services, market participation and communication of multimicrogrids: A review. Applied Energy, 308,118332.

Zeigler, B.P. (2003). DEVS Today: Recent Advance in Discrete Event-Based Information Technology. In Proc. 11th IEEE/ACM International Symposium on Modeling Analysis and Simulation of Computer Telecommunications Systems, IEEE Computer Society/ACM.

Zou, H.; Mao, S.; Wang, Y.; Zhang, F.; Chen, X.; Cheng. L. (2019). A survey of energy management in interconnected multi-microgrids. IEEE Access, 7, 72158-72169.

Zeigler, B.P. and Sarjoughian, H. S. (2003). Introduction to DEVS Modelling and Simulation with JAVA: Developing Component-Based Simulation Models. University of Arizona.

"PROPUESTA DE MEJORA DEL PROCESO DE RECICLADO DE ENVASES DEL AGRO EN LA INDUSTRIA DEL PLÁSTICO"

Vergel, Julio

Universidad Nacional de Tucumán
Juliovergel2@gmail.com

RESUMEN

En Argentina, existe un programa de manejo de envases vacíos que se encarga de recolectar los contenedores de agroquímicos utilizados en el campo para luego distribuirlos a empresas del rubro del plástico habilitadas para su procesamiento. Si bien el costo de adquisición de estos envases es cero para dichas empresas, la recuperación del material plástico implica costos asociados a la energía, mano de obra y otros factores. Este proyecto tiene como objetivo proponer un proceso de reciclado de material plástico sostenible y rentable, siendo el resultado esperado que el costo de recuperación del plástico sea inferior al costo de adquisición de material virgen. Para ello, se analizará el proceso actual de recuperación en una empresa dedicada a esta actividad en la provincia de Tucumán.

Palabras Claves: Reciclado de envases de agroquímicos; Optimización de procesos; Sostenibilidad industrial; Industria del plástico; Automatización.

ABSTRACT

In Argentina, there is a program for managing empty containers that is responsible for collecting agrochemical containers used in the field and then distributing them to plastic industry companies authorized for their processing. Although the acquisition cost of these containers is zero for these companies, the recovery of the plastic material involves costs associated with energy, labor, and other factors. This project aims to propose a sustainable and profitable plastic recycling process, with the expected result that the cost of recovering the plastic will be lower than the cost of acquiring virgin material. To achieve this, the current recovery process in a company dedicated to this activity in the province of Tucumán will be analyzed.

Keywords: Recycling of agrochemical containers; Process optimization; Industrial sustainability; Plastic industry; Automation.

1. INTRODUCCIÓN.

El aumento en el consumo de plástico a nivel global, y la contaminación ambiental que conlleva el mismo, se ha convertido en un tópico alarmante para la sociedad moderna. Según lo expuesto en el artículo “Reciclado de residuos plásticos” (Arandes, Bilbao, & Lopez Valerio, 2004), dicho consumo crece un 4% anual. Además se estima que aproximadamente el 79% de los residuos plásticos termina en vertederos o en ambientes naturales (Geyer, 2017). La búsqueda de polímeros que puedan competir, por ejemplo, contra materiales metálicos, ha generado productos de gran resistencia química y mecánica, que al mismo tiempo demuestran una longevidad que puede implicar impactos en la contaminación (Escudero Castejón, 2011).

Frente a esta realidad, la industria del plástico en Argentina enfrenta importantes desafíos relacionados con la gestión sostenible y la disposición final de sus productos. En respuesta a esta problemática, existe un programa nacional de manejo de envases vacíos de agroquímicos (Figura 1), el cual se encarga de recolectarlos en el campo y distribuirlos a empresas especializadas en su procesamiento. Este proceso es esencial para la reducción de desechos y la promoción de la economía circular.



Figura 1 - Ejemplo de envase de agroquímico procesado en la empresa en cuestión

La empresa donde se desarrollará este proyecto está ubicada en la provincia de Tucumán y se dedica, entre otras actividades, a la recuperación de plástico a partir de envases de agroquímicos. Estos envases, hechos de polietileno, no representan un costo directo de adquisición para la empresa. Sin embargo, la recuperación del plástico implica gastos significativos en términos de energía, mano de obra y otros recursos operativos. En este contexto, el precio del polietileno virgen a nivel mundial oscila entre 1000 y 1500 dólares por tonelada, lo cual subraya la importancia de optimizar el proceso de reciclado para que resulte económicamente viable.

Entre enero de 2022 y junio de 2024, la cantidad de plástico recuperado por "Campo Limpio" (Campolimpio, 2024) en Argentina ha mostrado una tendencia general al alza, a pesar de las fluctuaciones mensuales (Figura 2). Esta tendencia positiva refleja un incremento en los esfuerzos de reciclaje y en la recolección de envases de agroquímicos. Sin embargo, la variabilidad en los datos también sugiere la necesidad de un proceso más eficiente y sostenible para asegurar una recuperación constante y rentable del plástico.

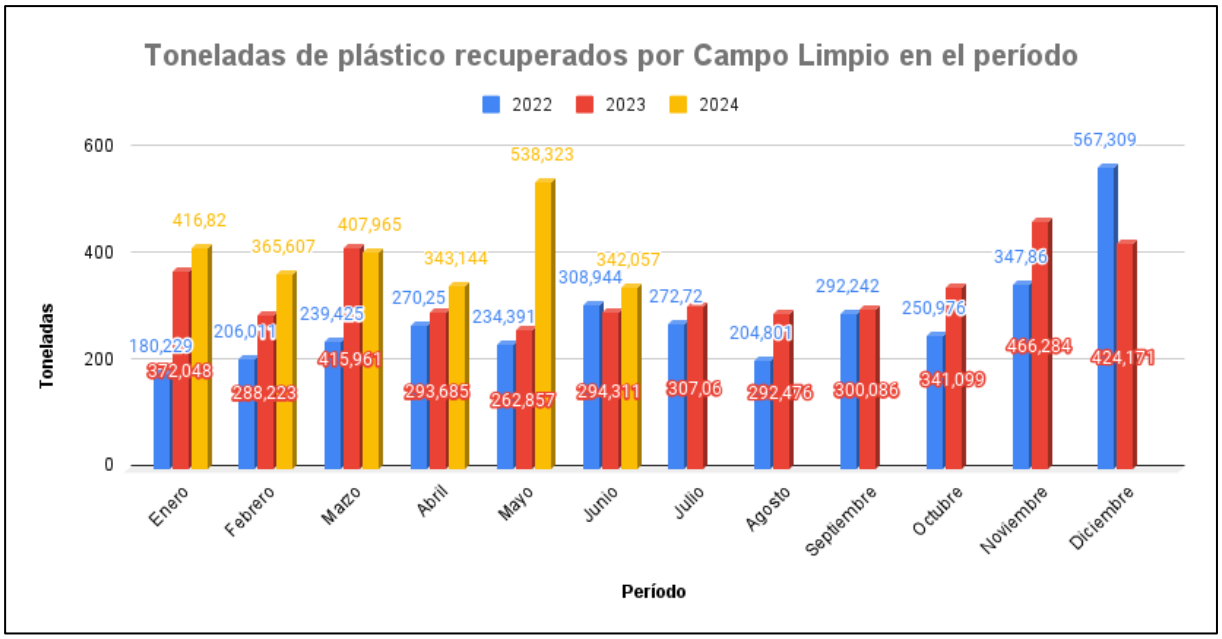


Figura 2 - Gráfico de toneladas de plástico recuperado mes a mes por el programa Campo Limpio en Argentina desde enero de 2022 a junio de 2024

El principal objetivo de este proyecto es proponer una automatización del proceso de reciclado de envases de agroquímicos que sea tanto sostenible como rentable. A través de un análisis exhaustivo del proceso actual en la empresa mencionada, se buscará identificar oportunidades de mejora y eficiencia que permitan reducir los costos de recuperación del plástico por debajo del costo de adquisición de material virgen. De esta manera, se contribuirá no solo a la reducción de residuos plásticos, sino también al fortalecimiento económico y ambiental de la industria.

2. ESTUDIO DEL PROCESO ACTUAL.

El proceso actual puede dividirse en los siguientes 4 subprocesos:

- Molido
- Lavado
- Secado
- Peletizado

Mientras el lavado, secado y posterior peletizado se realizan en su totalidad utilizando maquinaria específica, el molido requiere de tareas manuales dado que los bidones que llegan a la fábrica llevan adosados, en la gran mayoría de los casos, tapas, etiquetas y materiales metálicos remanentes del sistema de sellado utilizado para evitar el derrame de los productos contenidos en ellos. La extracción de estos materiales adosados a los envases es crucial dado que su presencia entorpece el funcionamiento de las máquinas utilizadas para los procesos consiguientes.

Para determinar el nivel de impacto de cada proceso en el costo total del material recuperado, se llevaron a cabo observaciones y mediciones con la finalidad de establecer los ritmos de producción, el consumo energético asociado y los operarios necesarios para realizar cada proceso.

En la siguiente tabla (Tabla 1) se exponen los resultados obtenidos:

Tabla 1 - Resumen de ritmos de producción, mano de obra y consumo eléctrico de cada proceso

Proceso	Producción (kg/hora)	Mano de Obra Necesaria	Consumo Eléctrico (kW)
Molido	150	4	24.2 kW
Lavado	150	1	2.98 kW
Secado	189.47	1	15.29 kW
Peletizado	100	1	93.8 kW

A partir de estudiar las rutas de circulación del material dentro de la empresa, planes de mantenimiento de las máquinas y entrevistas con los operarios, se obtuvieron los costos totales de cada proceso y el

costo total de obtención del material. En la siguiente figura (Figura 3) se puede observar el porcentaje del costo total del recuperado que representa cada proceso.

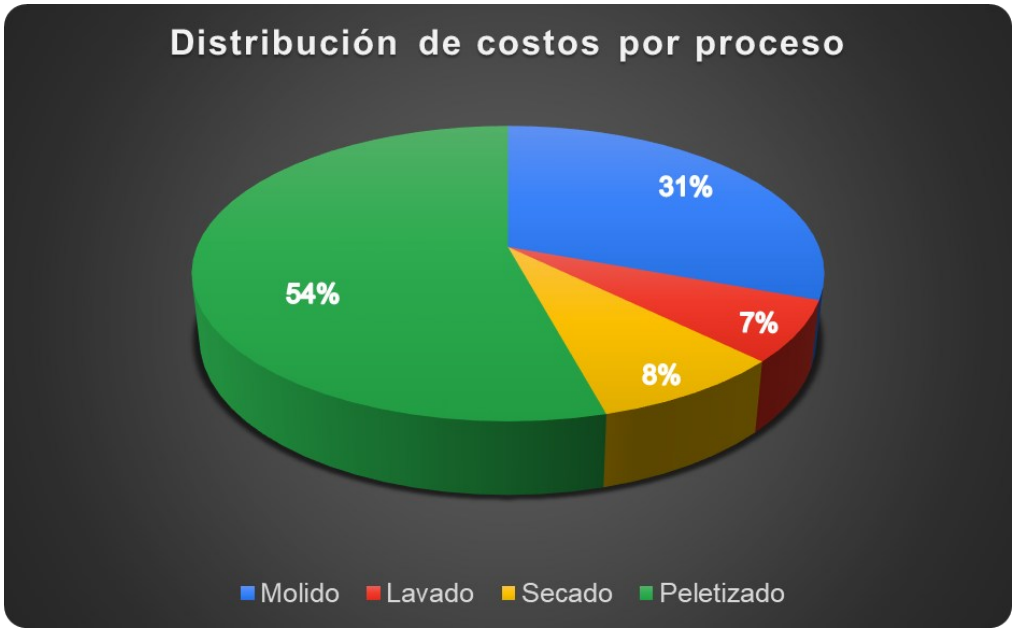


Figura 3 - Porcentaje del costo total del recuperado de material que representa cada proceso

Como se puede observar, los procesos que tienen mayor influencia en el nivel de costos son el molido y el peletizado. Coincidentemente, este proceso es un cuello de botella ya que la capacidad de producción de la máquina es menor que la capacidad de los procesos anteriores.

En segundo lugar, en orden importancia, se encuentra el molido de los envases, que puede subdividirse en las siguientes etapas:



Figura 4 - Secuencia de operaciones del proceso de molido

En la siguiente figura (Figura 5) se esquematiza el layout del proceso de molienda, así como las líneas de circulación de los operarios desde la recolección hasta el pase a la lavadora.

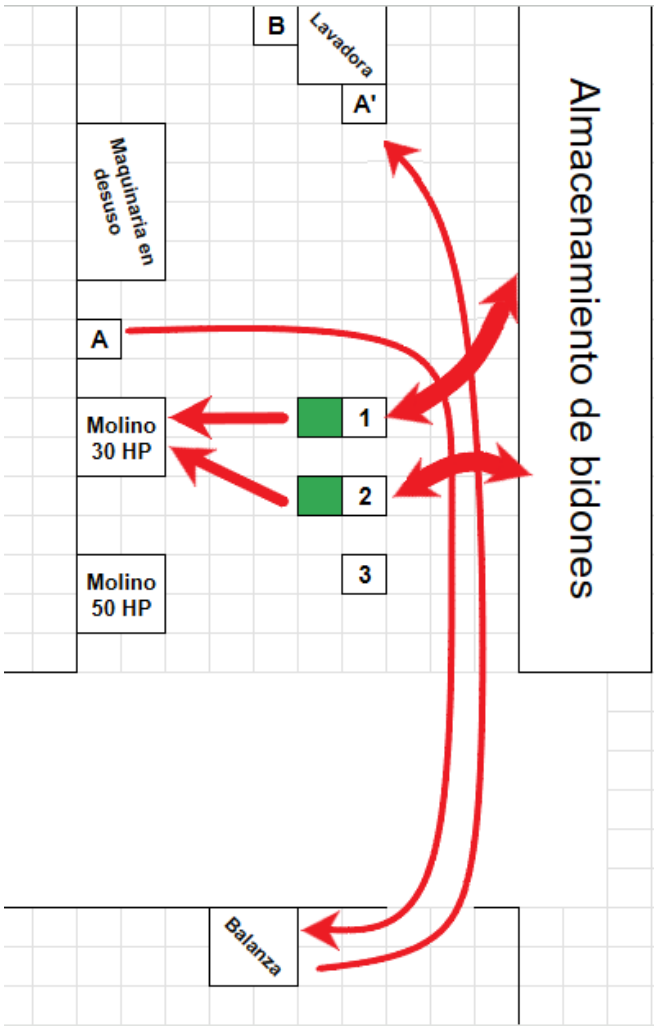
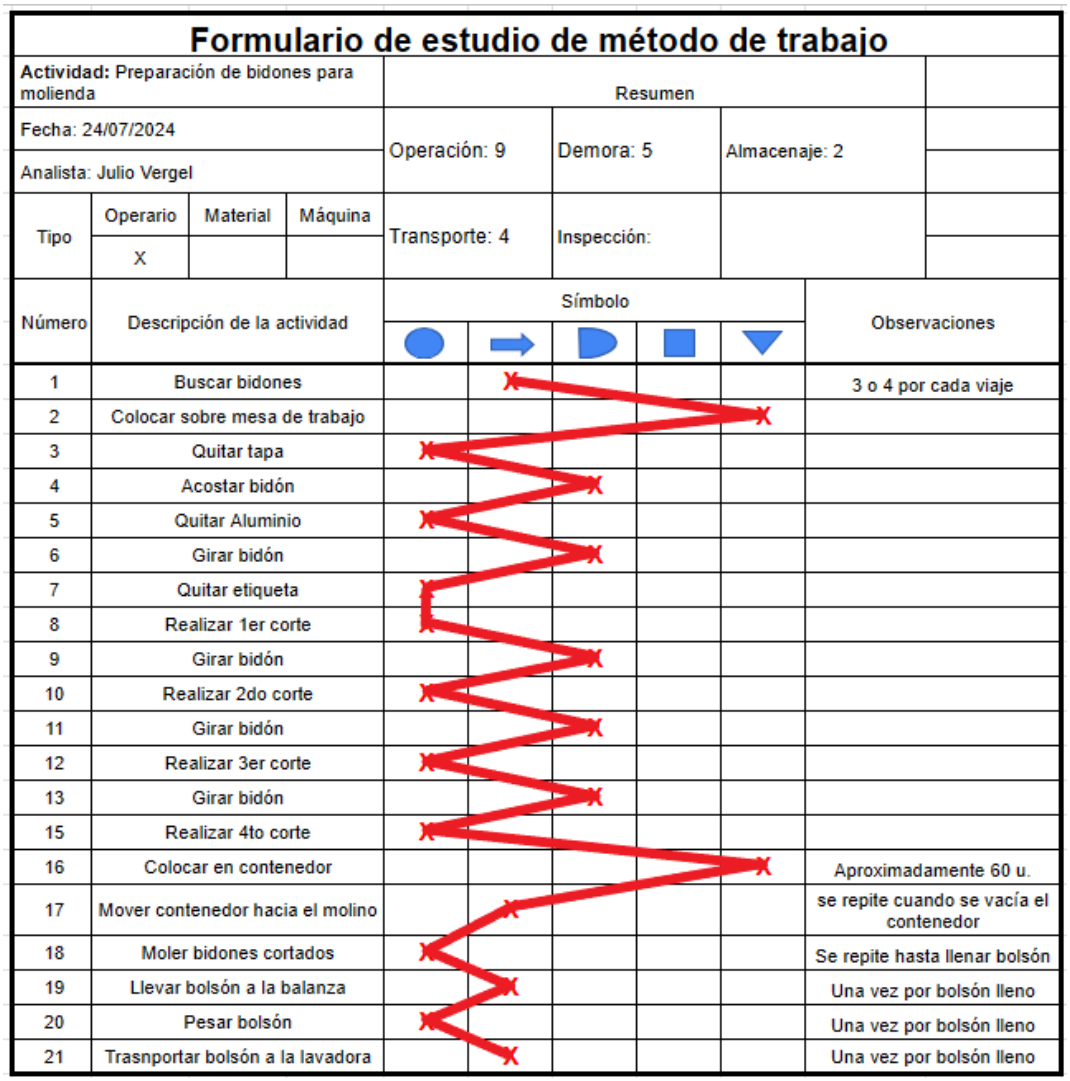


Figura 5 - Layout del proceso de molido y circulación de material.

El proceso comienza cuando los operarios recogen los bidones acumulados en la zona de descarga de los camiones (almacenamiento de bidones) y los llevan a las estaciones de trabajo (señalizadas como “1” y “2” en la Figura 5). Esta etapa es un poco variable porque algunas veces se recoge un grupo de bidones del color que se está procesando sin clasificar ni ordenar y otras se hace la clasificación por colores antes de realizar la recolección. Una vez que el operario coloca los bidones recogidos sobre la mesa de trabajo les quita las tapas manualmente y luego, con la ayuda de un machete, corta el borde del pico del bidón que tiene adosados restos de aluminio, corta la etiqueta del envase y lo corta por la mitad. Las partes cortadas se almacenan en contenedores con ruedas (señalizados en la Figura 5 como cuadrados verdes) donde entran aproximadamente 60 bidones. Cuando un contenedor se llena, un operario lo cambia por uno nuevo y se lo lleva a la par del molino (molino de 30 HP) y alimenta la máquina para obtener el material molido. Este proceso se repite hasta que se llena un bolsón (Indicado como “A” en la Figura 5), el cual contiene aprox. 600 kg de material. El bolsón se transporta entonces a la balanza donde se pesa y regresa a la zona de procesamiento para comenzar el proceso de lavado (indicado como “A’ “en la figura 5). A la salida de la lavadora se ubica otro bolsón (“B” en Figura 5), donde se va acumulando el material lavado.

Cabe destacar que la capacidad de producción máxima del molino instalado en la fábrica es de 800 kg por hora, es decir, que al estar produciendo 150 kg por hora solo se está utilizando el 25% de la capacidad del mismo.

En el marco de la investigación, se realizó un estudio de método de trabajo del proceso de recuperación de bidones, con el fin de descomponer el proceso en tareas básicas, tales como cortar, girar, transportar y moler el envase. Este análisis se llevó a cabo teniendo en cuenta lo expuesto en el libro “Estudio de Tiempos y Movimientos para la manufactura ágil” (Meyers, 2000).



Formulario de estudio de método de trabajo

Actividad: Preparación de bidones para molienda				Resumen			
Fecha: 24/07/2024				Operación: 9	Demora: 5	Almacenaje: 2	
Analista: Julio Vergel							
Tipo	Operario	Material	Máquina	Transporte: 4	Inspección:		
	X						

Número	Descripción de la actividad	Símbolo	Observaciones
1	Buscar bidones		3 o 4 por cada viaje
2	Colocar sobre mesa de trabajo		
3	Quitar tapa		
4	Acostar bidón		
5	Quitar Aluminio		
6	Girar bidón		
7	Quitar etiqueta		
8	Realizar 1er corte		
9	Girar bidón		
10	Realizar 2do corte		
11	Girar bidón		
12	Realizar 3er corte		
13	Girar bidón		
15	Realizar 4to corte		
16	Colocar en contenedor		Aproximadamente 60 u.
17	Mover contenedor hacia el molino		se repite cuando se vacía el contenedor
18	Moler bidones cortados		Se repite hasta llenar bolsón
19	Llevar bolsón a la balanza		Una vez por bolsón lleno
20	Pesar bolsón		Una vez por bolsón lleno
21	Trasnportar bolsón a la lavadora		Una vez por bolsón lleno

Figura 6 - Estudio de método de trabajo para el proceso de molienda de bidones de agroquímicos

La tabla siguiente (Tabla 2) evidencia el significado de la simbología utilizada en el diagrama anterior:

Tabla 2 - Simbología utilizada en el diagrama de operaciones del método de trabajo del proceso.

Actividad	Simbología
Operación	
Transporte	
Demora	
Inspección	
Almacenaje	

A partir de la información recopilada se realizaron las modificaciones propuestas en el siguiente capítulo del presente trabajo.

3. PROPUESTAS DE MEJORA.

3.1. Proceso de molido.

Como se mencionó anteriormente, el objetivo principal de este proyecto es el de automatizar el proceso de recuperación de bidones de agroquímicos. Sin embargo, dadas las evidencias del mal funcionamiento del proceso actual, se plantearon mejoras más sencillas para observar el impacto de las mismas y analizar si realmente se justifica realizar una posterior automatización.

A continuación (Figura 7) se muestra la propuesta de modificación del layout:

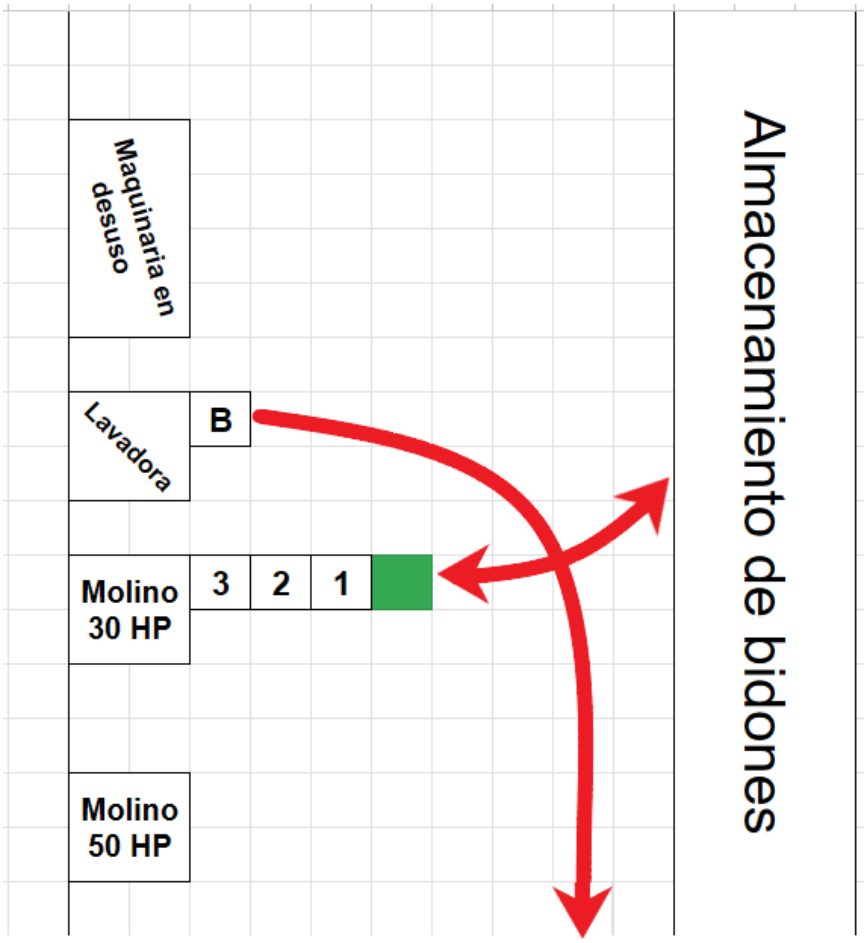


Figura 7 - Modificación propuesta del layout del proceso de molido.

Los cambios realizados fueron:

1. Colocar las mesas de trabajo a la par del molino para evitar el almacenamiento en el contenedor y enviar directamente los bidones cortados al mismo.
2. Realizar una división de tareas de manera tal que 2 personas se dediquen a quitar las tapas y extraer el aluminio y otras dos a quitar las etiquetas y cortar el bidón, utilizando la mesa 2 como un pequeño almacenamiento intermedio para solventar variaciones en los ritmos de trabajo.
3. Asignar una persona que se dedique a recolectar los bidones, colocarlos en los contenedores según el color del envase y llevarlos hasta las mesas de trabajo.
4. Conectar la salida del molino con la alimentación de la lavadora. Esto permitió liberar al operario encargado de realizar el proceso de lavado del material y reasignarlo al proceso de molido. Esto fue posible ya que la lavadora se puede mover fácilmente de una ubicación a otra y se demostró que la capacidad de procesamiento de la misma es compatible con el nuevo ritmo de producción alcanzado por el molino.
5. Pesar el material después del proceso de secado. La razón por la que se pesaba antes del lavado es porque en la empresa se otorga un premio por producción a los operarios del molino y para ello debe pesarse antes de que el material se humedezca en la lavadora para contabilizar cantidades reales de material. Por ello se decidió otorgar el premio basado en el peso del

bolsón luego del secado e incluir al operario encargado de este proceso dentro de este beneficio.

Como resultado de estas modificaciones se obtuvo un aumento del 50% en el ritmo de producción de los procesos de molido y lavado. Además, se disminuyó considerablemente el gasto en traslado de material con auto elevadores al eliminar los movimientos internos del proceso.

3.2. Proceso de peletizado.

Para mejorar el proceso de peletizado se optó por la adquisición de una nueva máquina peletizadora cuya capacidad de producción se adapte mejor a las necesidades de la empresa.

La máquina propuesta es una peletizadora de cascada cuyo valor es de USD 210.949,00. En la siguiente tabla se muestran las características técnicas de dicha máquina.

Tabla 3 - Características técnicas de la peletizadora propuesta

	Extrusor principal	**Sub extrusor**
Diámetro del husillo	150 mm	-
Husillo LD	(L/D32/1)	-
Potencia del motor	100 HP	-
Torre de enfriamiento	-	1 1/4 HP
Tablero de control	10 zonas	4 zonas
Calentador	68 kW	17 kW
Tina de acero	-	3.2 m
Secador	-	2 HP
Molino Peletizador	-	7.5 HP
Peso de la máquina	-	7100 Kg
Alimentación forzada	5 HP	-
Motor hidráulico	5 HP	-
Capacidad por hora	260 - 350 Kg/hr	-

Considerando que en la fábrica se procesa una media de 628,8 Toneladas de material al año, y dado que el costo por kilogramo procesado disminuye un 29,06% con la nueva peletizadora (considerando un ritmo de producción de 300 Kg/hr), el período de recuperación de la inversión es de 5 años y medio.

3.3. Automatización del proceso de molido.

3.3.1 Fundamentación de la propuesta de automatización.

Aplicando los cambios propuestos en los apartados anteriores, se logró disminuir el costo del proceso bajo estudio en un 31,36%. Sin embargo, la distribución de los costos no cambió demasiado en comparación con la original, tal como se puede observar en la figura que se muestra a continuación (Figura 8).

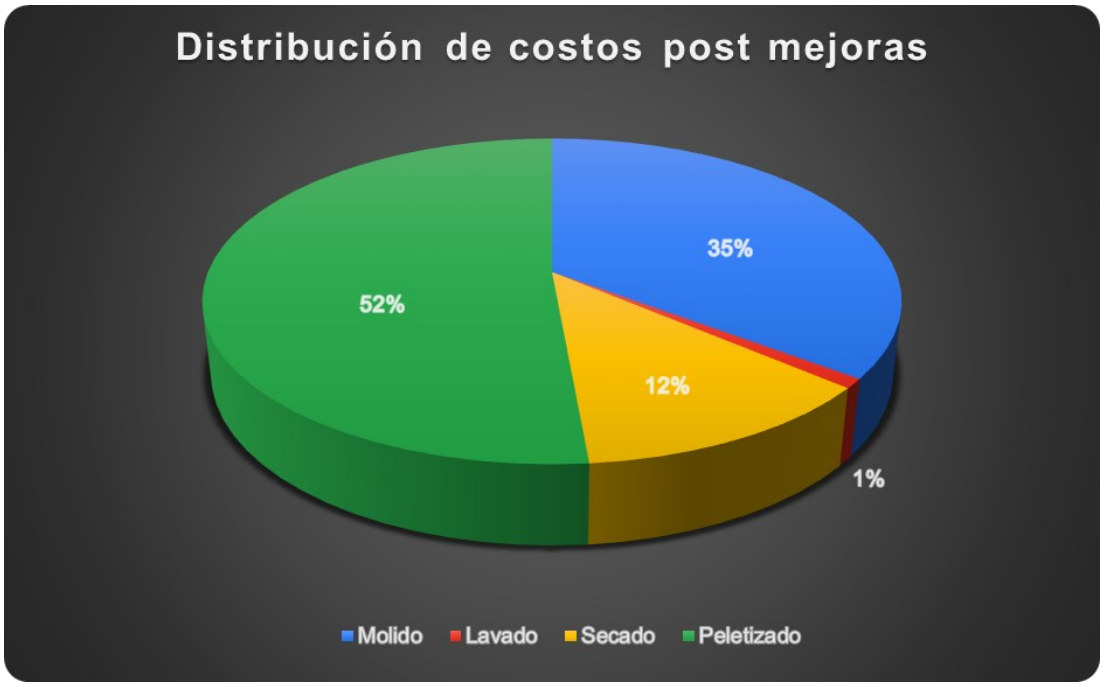


Figura 8 - Distribución de costos del proceso de recuperado de bidones luego de aplicar las mejoras propuestas.

A partir de esta información, queda en evidencia que el molido y peletizado del material siguen siendo protagonistas en dicha distribución.

Analizando los costos del proceso de molido, resultado de las mejoras aplicadas, se determinó que, bajo las nuevas condiciones de trabajo, el 78% de los mismos se deben a la mano de obra, tal como se muestra en la siguiente figura.

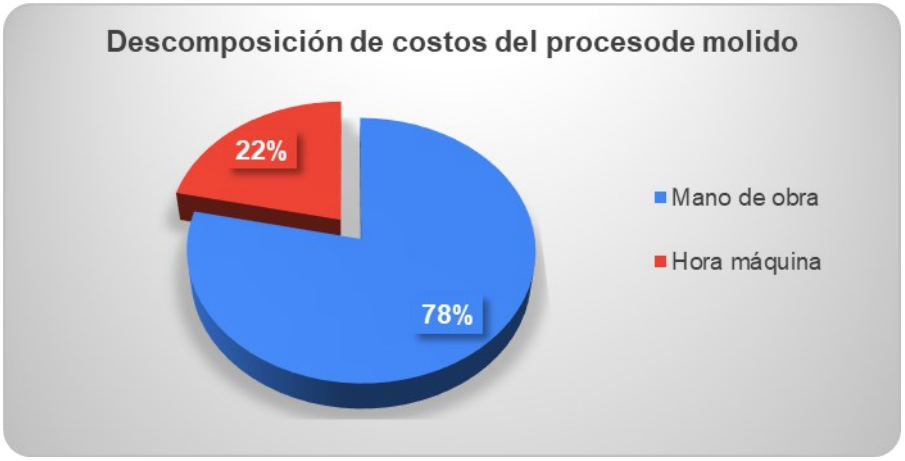


Figura 9 - Distribución de los costos del proceso de molido.

Ante este nuevo panorama, queda justificada la conveniencia de la automatización del proceso de molido, no solo por su influencia en los costos, sino también por la posibilidad de liberar operarios para trabajar en otros procesos que aún no fueron automatizados.

3.3.2 Propuesta de automatización del proceso.

En base a la secuencia de acciones expuesta en la figura 6, se determinó que las acciones candidatas a automatizar son:

- Picking
- Clasificación
- Extracción de materiales adosados (etiquetas y aluminio).
- Corte trasversal.
- Alimentación del molino.

A continuación, se establecen los tiempos promedios de cada acción, resultantes de un estudio de tiempos de trabajo (Tabla 4).

Tabla 4 - Estudio de tiempos de trabajo del proceso de molido

FORMULARIO DE ESTUDIO DE TIEMPOS				
Operación: Proceso de molido		***Observaciones:*** El operario, cuyos tiempos de ejecución se registraron en el presente estudio, es personal altamente calificado para realizar esta tarea.		
Instalación/Máquina: molino para plástico de 30 HP				
Herramientas: Machete				
Producto: Bidón de 20 litros				
Material: Polietileno de alta densidad				
Descripción del elemento	**V**	**LC**	**TO**	**TN**
Picking	100	00:16,1	00:16,1	16,1
Quitar la tapa	100	00:21,1	00:05,0	5,0
Quitar etiqueta	130	00:23,3	00:02,2	2,9
Quitar aluminio	130	00:31,6	00:08,3	10,8
Cortar por la mitad	130	00:36,7	00:05,1	6,6

Donde V es la valoración del operario según la velocidad de ejecución; LC es la lectura del cronómetro (en este caso el promedio de dichas lecturas); TO es el tiempo observado entre dos lecturas (también en promedio) consecutivas del cronómetro y TN es el tiempo normalizado que se obtiene como el producto de la valoración y el tiempo observado.

A partir de lo observado en la tabla 4, en consideración de las mejoras propuestas anteriormente, y tomando como referencia lo expuesto en los trabajos (Monteza Leiva, 2019); (Valdivia López, 2023); (Barrenechea, 2012) y (Olmedo Macías Constante & Cedeño Quishpe, 2016), se tomaron las siguientes decisiones:

- Quitar el aluminio después del proceso de secado, utilizando una separadora por corrientes de Foucault para quitar los trozos de este material remanentes al final del proceso. Esto implica que tampoco es necesario quitar la tapa del envase al inicio.
- Destinar, al igual que se planteó en el capítulo anterior de este trabajo, una persona que se dedique exclusivamente al picking de envases.
- Unificar los procesos de extracción de etiquetas y reducción del envase (corte por la mitad) y realizarlos en una máquina diseñada en la propia empresa para realizar específicamente esta tarea. En lugar de cortar el bidón se lo compactará con una prensa de émbolo.

A continuación, se muestra un croquis ilustrativo de la máquina diseñada para compactar los bidones.

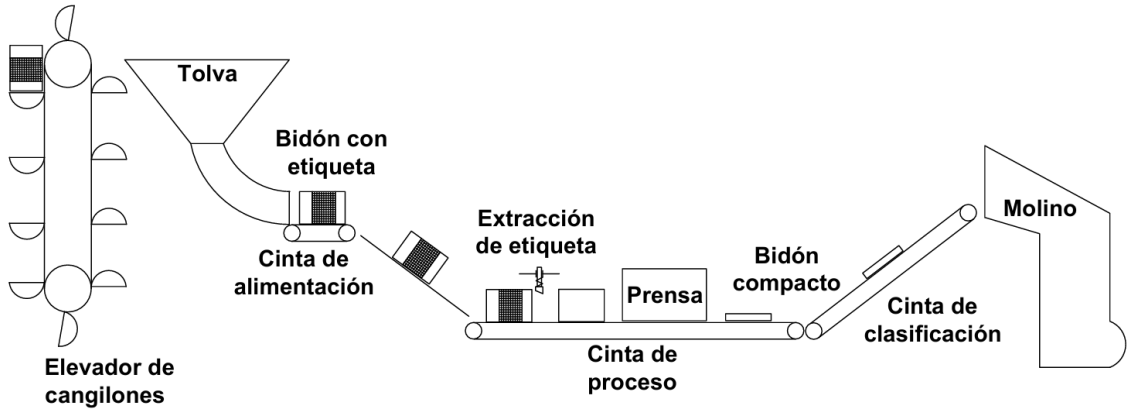


Figura 10 - Croquis ilustrativo de la procesadora de bidones.

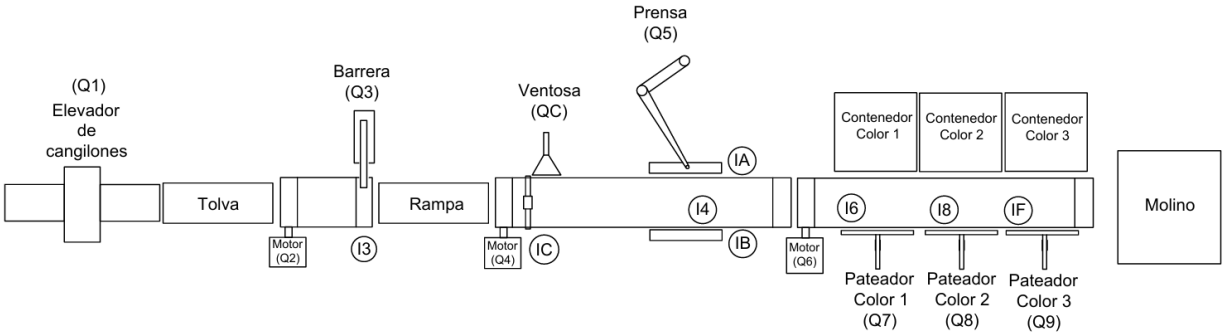


Figura 11 - Vista de planta del croquis ilustrativo

El objetivo de esta máquina es que pueda procesar como mínimo la misma cantidad de bidones por hora que los 4 operarios, de manera tal que sea posible adaptar la misma a mayores volúmenes de producción en caso de ser necesario. Esto posibilita seguir mejorando los demás procesos sin generar un nuevo cuello de botella en el corto plazo.

Bajo estas condiciones, se espera que los costos del proceso molido disminuyan como mínimo un aproximado del 30%, requiriendo solo a 2 personas para llevarlo a cabo. Consiguiendo así, en conjunto con las mejoras propuestas anteriormente, una disminución del 40% en los costos del material recuperado.

La inversión inicial de construir la compactadora y la adquisición de la separadora de Foucault se estima en unos USD 95.000. Monto que puede variar ya que la máquina se encuentra aún en etapa de diseño.

A través del siguiente link se puede acceder secuencia de operaciones de la máquina y el programa del PLC en lenguaje ladder, archivos que se actualizarán conforme se avance en el diseño de la misma.

https://drive.google.com/drive/folders/1HmA5mshhKkYGLc8yG2GMFqKKnqwGeSbe?usp=drive_link

La secuencia de operaciones actual del proceso es la siguiente:

El proceso inicia al presionar el pulsador de arranque I1, que enciende el elevador de cangilones (Q1), el motor de la cinta de alimentación (Q2), la cinta de proceso (Q4) y la cinta de clasificación Q6. Cuando un bidón pasa por I3, se cierra la barrera (Q3) y se apaga la cinta de alimentación, para permitir la alimentación de 1 bidón a la vez.

El bidón cae por la rampa y llega a la cinta de proceso, la cual transporta al bidón a través de la cortadora (que consta de un pequeño elemento cortante presionado contra el bidón por un resorte), donde se le extrae la etiqueta (QC) (se utilizó una ventosa que succiona la etiqueta luego de ser cortada) y posteriormente a la prensa Q5, donde se compacta. Cuando el bidón llega a la posición adecuada en la prensa (I4), se detiene la cinta transportadora y se inicia el compactado. Cuando el pistón de la prensa llega al final de su recorrido (IB), la barrera se abre y se activan las cintas de alimentación y proceso, introduciendo un nuevo bidón al proceso.

Con la intención de reducir el tiempo de recolección de los envases para los operarios y el espacio necesario para el almacenamiento de bidones, se adicionó un sistema de clasificación por colores. El mismo cuenta con 3 interruptores (I5, I7 e IE) mediante los cuales se selecciona desde el tablero cuales son los colores que se quiere discriminar y 3 sensores de color con salida 0 o 1 (I6, I8 e IF), que detectan el color del bidón que se está procesando. Si el color seleccionado y el color del bidón coinciden, se activa el pateador correspondiente (Q7, Q8 o Q9) y se envía el bidón ya compactado a un bolsón para su almacenamiento y posterior molienda.

4. CONCLUSIONES.

A partir de los estudios realizados, se propusieron modificaciones al proceso actual de recuperado de material plástico a partir de bidones que fueron utilizados como contenedores de agroquímicos. Dichas modificaciones permitieron reducir los costos del material en un 31,36% mediante la adquisición de una peletizadora de mayor capacidad a la instalada y alterando el layout del proceso de molido y lavado.

Además, se propuso la construcción de una máquina específica para automatizar el proceso de molido de los bidones cuya aplicación, sumada a las mejoras que se llevaron a cabo, conlleva una disminución esperada del 40% de los costos del material recuperado.

5. REFERENCIAS.

Arandes, J. M., Bilbao, J., & Lopez Valerio, D. (2004). Reciclado de residuos plásticos. *Revista Iberoamericana de Polímieros, 5 (1)*, 28-45.

Barrenechea, S. M. (2012). *Diseño de una máquina compactadora de botellas.* Lima.

Campolimpio. (2024). Obtenido de https://www.campolimpio.org.ar/envases-recuperados/

Escudero Castejón, L. (2011). Determinación de la biodegradabilidad y toxicidad de materiales plásticos: aplicación de las normas UNE-EN-ISO 14852 y 11348-3.

Geyer, R. J. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science advances, 3(7), e1700782*.

Meyers, F. E. (2000). *Estudio de Tiempos y Movimientos para la manufactura ágil.* Pearson Educación.

Monteza Leiva, W. (2019). *Diseño de una máquina trituradora de botellas plásticas de 100kg/h para optimizar su transporte y almacenamiento en la empresa recicladora planeta verde EIRL.* Chiclayo.

Olmedo Macías Constante, O., & Cedeño Quishpe, T. J. (2016). *Diseño de una Máquina Compactadora de 30 TON para Residuos.* Guayaquil.

Valdivia López, A. S. (2023). *Diseño de una máquina compactadora de botella PET para empresas recicladoras.*

Agradecimientos

Quisiera agradecer a mis colegas de trabajo Ing. Nicolás Valle, Ing. Daniel Schanz e Ing. Miguel Pérez, por brindarme sus consejos y opiniones con respecto a este proyecto. A mi madre María Inés Nofal, quien revisa la redacción de mis textos con el mayor de los esmeros.

LOGÍSTICA ENERGÍA Y SOSTENIBILIDAD, REVISIÓN DE LITERATURA

LURBÉ, Rubén Mario, AROCA BAVICH, Alejandro Cruz

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Santa Cruz
mariolurbe@yahoo.com; arocabavich@gmail.com

RESUMEN

El presente expone los resultados de Realizar un análisis de la literatura reciente sobre la importancia de la logística en la generación de gases de efecto invernadero (GEI) y analizarlos tópicos que se están investigando para reducir el impacto y aumentar la sostenibilidad de la actividad.
La metodología se basó en la revisión sistemática de la literatura disponible, publicada en los años recientes, su análisis y comparación.
Los resultados de la investigación muestran que, si bien a la fecha se está avanzando por varios caminos para reducir el impacto de la actividad en relación con los GEI, ninguno a la fecha ha logrado imponerse sobre los demás, mostrando que estamos en una época de transición.
En esta transición juegan la sostenibilidad, como objetivo importante, con las limitaciones tecnológicas y las económicas que aún no son fáciles de vencer.

Palabras Claves: Logística, Sostenibilidad, Transporte, Ambiente, Transición Energética

ABSTRACT

This document presents the results of an analysis of recent literature on the importance of logistics in the generation of greenhouse gases (GHG) and examines the topics currently being researched to reduce impact and enhance the sustainability of the activity. The methodology was based on a systematic review of the available literature published in recent years, followed by its analysis and comparison. The research results indicate that, although progress is being made through various approaches to reduce the impact of logistics activities on GHG emissions, none have yet emerged as a definitive solution, suggesting that we are in a period of transition. In this transition, sustainability plays a key role as an important objective, alongside technological and economic constraints that remain challenging to overcome.

Keywords: Logistics, Sustainability, Transportation, Environment, Energy Transition

1. INTRODUCCIÓN

1.1 la importancia de la logística y la movilidad para el desarrollo sostenible

La logística y la movilidad son esenciales para lograr un desarrollo sostenible [1]. El concepto de desarrollo sostenible, tal como lo define el Informe Brundtland, es "el progreso que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades" [2]. La logística y la movilidad, al optimizar el transporte de bienes y personas, pueden contribuir a este objetivo haciendo que las cadenas de suministro sean más eficientes y sostenibles.
La logística verde, un componente clave de este enfoque, busca minimizar el impacto ambiental de las operaciones logísticas. [3][4] Esto incluye la adopción de tecnologías más limpias, la optimización de rutas para reducir las emisiones y la gestión eficiente de los recursos [4]. Al integrar la sostenibilidad en todas las etapas de la cadena de suministro, desde la obtención de materias primas hasta la entrega final, la logística verde impulsa el desarrollo sostenible.
La movilidad sostenible, por otro lado, se centra en mejorar el transporte de pasajeros, especialmente en áreas urbanas. Esto implica promover el transporte público, optimizar las redes de transporte para reducir la congestión y fomentar modos de transporte más ecológicos, como vehículos eléctricos y bicicletas. El objetivo es garantizar una movilidad eficiente y segura que minimice el impacto ambiental y mejore la calidad de vida en las ciudades. [5]
Según Jaimurzina, [5] es crucial destacar que la logística y la movilidad sostenible no solo benefician al medio ambiente, sino que también generan ventajas económicas y sociales. Al reducir el consumo de energía y las emisiones, las empresas pueden optimizar sus costos operativos y mejorar su imagen pública. Además, una mejor movilidad contribuye al desarrollo económico al facilitar el comercio y el acceso a oportunidades.
Sin embargo, la implementación de la logística y la movilidad sostenible presenta desafíos, como la necesidad de inversiones en infraestructura, la resistencia al cambio y la falta de coordinación entre diferentes actores. [5][6] Superar estas barreras requiere un esfuerzo conjunto de los gobiernos, las empresas y la sociedad civil.

1.2 Presentación Del Problema

La Necesidad de una Logística Energéticamente Eficiente y Sostenible
Según López y Castillo [7] La logística juega un papel crucial en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y en la disminución de la dependencia de las economías de las fuentes de energía no renovables, como los combustibles fósiles. La creciente preocupación por el cambio climático, los gases de efecto invernadero y la limitación de los recursos naturales ha impulsado la necesidad de que las empresas incorporen prácticas sostenibles en sus estrategias logísticas. De hecho, la logística puede representar hasta el 75% de la huella de carbono de una empresa.
El Impacto Ambiental de la Logística:
En lo que respecta a las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero el transporte y la distribución de mercancías, componentes esenciales de la logística, generan una cantidad significativa de emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente CO2. Consumo de Energía: Las operaciones logísticas, especialmente el transporte, consumen grandes cantidades de energía, principalmente proveniente de combustibles fósiles. La logística también contribuye a la contaminación acústica, la congestión del tráfico y la generación de residuos.
La Urgencia de una Logística Sostenible:
La transición hacia una logística energéticamente eficiente y sostenible es esencial para mitigar el impacto ambiental del sector y asegurar su viabilidad a largo plazo [8]. Esto requiere un cambio de paradigma que integre la sostenibilidad ambiental en todas las etapas de la cadena logística.
Por lo que resulta necesario implementar una serie de estrategias para una Logística Sostenible, a saber:
Reducción de la Demanda de Transporte: Optimizar las rutas de entrega, consolidar envíos y fomentar la producción local para disminuir la distancia recorrida. [9]
Optimización de la Carga y el Embalaje: Reducir el peso y volumen de los productos y utilizar materiales de embalaje sostenibles para maximizar el uso del espacio de carga y minimizar los residuos.
Mejora de la Eficiencia del Transporte: Utilizar vehículos más eficientes en combustible, implementar tecnologías de conducción eficiente y cambiar a combustibles alternativos con menor impacto ambiental.
Implementación de Tecnologías Limpias: Fomentar el uso de vehículos eléctricos, híbridos o propulsados por hidrógeno verde en el transporte de mercancías.

Colaboración y Transparencia: Establecer alianzas estratégicas entre empresas, gobiernos e instituciones para compartir información, recursos y mejores prácticas en materia de logística sostenible.
Modificar Marcos Regulatorio: Implementar políticas públicas que incentiven la adopción de prácticas sostenibles en la logística, estableciendo incentivos tal como, impuestos a las emisiones de carbono o subsidios para tecnologías limpias.
En definitiva, la logística energéticamente eficiente y sostenible es un imperativo para el futuro del comercio global y la preservación del medio ambiente. A través de la implementación de estrategias innovadoras, la colaboración entre actores clave y un marco regulatorio sólido, es posible avanzar hacia una logística más responsable y sostenible.

2. OBJETIVOS DEL TRABAJO.

Efectuar un análisis de la bibliografía que abordó temáticas tendientes a la reducción de loe GEI (Gases de Efecto Invernadero), pero desde un abordaje integral

3. LOGÍSTICA Y MOVILIDAD: DEFINICIÓN Y ALCANCE

Según Jaimurzina [5] La logística puede ser definida como la articulación de la provisión de servicios de infraestructura, la producción, la facilitación del movimiento, la distribución de bienes y la regulación de servicios e información a lo largo de la cadena global. Esta definición va más allá de la logística tradicional que se enfocaba principalmente en la distribución de mercancías y la optimización de inventarios. Dentro de los puntos clave de la logística se pueden detallar:
Logística Avanzada: Este concepto, desarrollado por la CEPAL, amplía la visión tradicional al incluir la acción del sector público en la provisión de infraestructura, la regulación y la seguridad de los flujos comerciales y de transporte.
Integración: La logística moderna busca la integración entre diferentes modos de transporte, sectores económicos (como la industria y el comercio) y actores públicos y privados.
Sostenibilidad: La logística actual integra el concepto de sostenibilidad, buscando minimizar el impacto ambiental de sus operaciones y promover un desarrollo económico y social más justo.
La movilidad, por su parte, se refiere al desplazamiento de personas en diferentes ámbitos geográficos. Es un concepto más amplio que el transporte de pasajeros, ya que considera la accesibilidad, la calidad del servicio, el impacto social y ambiental, entre otros aspectos.

Por otra parte, dentro de los puntos clave de la movilidad se encuentran:

Movilidad Urbana: Este tipo de movilidad se enfoca en el transporte de personas dentro de las ciudades, donde la congestión, la contaminación y la seguridad vial son desafíos importantes.

Equidad y Acceso: La movilidad moderna busca garantizar que todas las personas tengan acceso a servicios de transporte de calidad, independientemente de su condición social, económica o física.

Sostenibilidad: Al igual que la logística, la movilidad también integra el concepto de sostenibilidad, buscando reducir el impacto ambiental del transporte de pasajeros y promover un desarrollo urbano más equilibrado.

En resumen, la logística y la movilidad son conceptos interrelacionados que abarcan la gestión del flujo de bienes y personas, respectivamente. Ambos enfoques buscan la eficiencia, la integración y la sostenibilidad para lograr un desarrollo económico y social más justo y respetuoso con el medio ambiente.

4. SEGMENTOS DE LA LOGÍSTICA Y LA MOVILIDAD

La logística y la movilidad pueden ser analizadas desde diversas perspectivas. La logística, según el alcance geográfico de los flujos, puede ser clasificada en:

Logística de Comercio Exterior: Impulsada por la globalización, este tipo de logística se enfoca en el transporte de bienes a nivel internacional. La facilitación comercial juega un papel crucial en este ámbito para agilizar los controles fronterizos y evitar obstáculos en el flujo de mercancías.

Logística de Comercio Interior o Doméstica: Este segmento se centra en la distribución de bienes dentro de un mismo país. Su eficiencia impacta directamente en los precios y la calidad del servicio que reciben los consumidores en las diferentes regiones.

Logística Urbana: Esta categoría se distingue por su impacto en los costos de los productos consumidos en las ciudades y por las externalidades negativas que puede generar, especialmente en

términos de congestión y contaminación. La logística urbana también influye en la movilidad dentro de las ciudades.

Considerando el tipo de carga, la logística puede clasificarse en:

Logística de Cargas Generales: Involucra el movimiento de contenedores, pallets, vehículos y cargas de grandes dimensiones.

Logística de Cadena de Frío: Este segmento se especializa en el transporte de productos que requieren refrigeración constante, como frutas y alimentos, demandando altos estándares de calidad, instalaciones y equipos especializados.

Logística de Graneles Sólidos y Líquidos Masivos: Este tipo de logística se encarga del transporte y almacenamiento de grandes volúmenes de productos como minerales, cereales, oleaginosas y combustibles, utilizando vehículos e instalaciones específicas para su manejo.

Es importante destacar que estas clasificaciones tienen un fin principalmente expositivo, ya que la Logística es un sistema único e interconectado. La movilidad, por otro lado, se organiza en diferentes niveles según la escala de los flujos de personas:

Movilidad Urbana: Se refiere al transporte dentro de las ciudades, donde los sistemas de metro son un ejemplo de infraestructura especializada.

Movilidad de Cercanías: Conecta las áreas urbanas con su periferia, facilitando el transporte de personas entre ciudades cercanas.

Movilidad Interurbana: Abarca el transporte de pasajeros entre diferentes ciudades de un mismo país, utilizando infraestructuras como carreteras, vías férreas y aeropuertos.

Algunos sistemas de transporte, como aeropuertos, vías férreas, carreteras y puertos, tienen la capacidad de atender flujos interurbanos e internacionales tanto de pasajeros como de carga de forma simultánea, lo que resalta la interconexión entre los diferentes segmentos de la logística y la movilidad.

5. RELACIÓN ENTRE LOGÍSTICA, MOVILIDAD E INTEGRACIÓN PRODUCTIVA

La integración logística es un componente fundamental de la integración productiva. Sin una interconexión eficiente de las redes de infraestructura y servicios asociados, no es viable la creación de cadenas de valor ni la integración productiva en general. La integración productiva se refiere a la integración de los procesos de producción, distribución y consumo a nivel nacional e internacional. La logística, como proceso específico, es indispensable para la integración productiva, ya que proporciona la base física esencial para su funcionamiento.

Una integración productiva robusta depende de la integración logística. Esta última proporciona la estructura física y regulatoria que facilita el intercambio de bienes y servicios, tanto en cadenas de suministro nacionales como internacionales. Para alcanzar el nivel deseado de productividad y competitividad, es necesario un cambio de paradigma en la forma en que se diseñan, implementan y regulan las políticas de infraestructura y los servicios relacionados. La logística y la movilidad deben ocupar un lugar central en este cambio, dejando atrás el enfoque tradicional en los modos de transporte.

6. PRINCIPALES FUENTES DE ENERGÍA EN LA LOGÍSTICA

Según Palermo García et al [1] La logística se puede analizar en clusters, el primer clúster de análisis en torno a la logística verde se centra en el uso de energía en el transporte y su mejora. Este clúster incluye términos como "vehículos eléctricos", "consumo energético" y "emisiones de carbón".

Si bien no se mencionan fuentes de energía específicas para la logística en el contexto de los clústeres, el texto destaca la importancia de la eficiencia energética en el transporte. Se menciona la biomasa como una fuente de energía renovable relevante para la generación de electricidad y calor, y se destaca su uso en la producción de biocombustibles para el transporte[6]

El transporte y la distribución de mercancías son componentes cruciales de la logística y las cadenas de suministro. Este sector es un punto focal en el debate sobre sostenibilidad, lo que impulsa a las partes interesadas a analizar en profundidad la sostenibilidad en la logística.[9] El desarrollo de biocombustibles sostenibles se considera una oportunidad para mejorar la eficiencia energética en el transporte en América Latina. [5]

7. IMPACTO AMBIENTAL DE LAS DIFERENTES FUENTES DE ENERGÍA

El análisis del ciclo de vida permite comparar cuantitativamente las emisiones "de la cuna a la tumba" de diferentes tecnologías de generación de energía. Las tecnologías de energía renovable generalmente producen considerablemente menos emisiones de gases de efecto invernadero en

comparación con las opciones de combustibles fósiles. En algunos casos, las emisiones de las energías renovables pueden ser incluso menores que las de los combustibles fósiles que utilizan captura y almacenamiento de dióxido de carbono [6]. Además de las emisiones de gases de efecto invernadero, el impacto ambiental de las diferentes fuentes de energía también debe considerar:

Emisiones de contaminantes atmosféricos: Muchos estudios han examinado las emisiones de contaminantes atmosféricos y el uso operacional del agua en la producción de energía.

Uso de la tierra: El análisis del ciclo de vida a menudo incluye el uso de la tierra y las consecuencias para la salud que no están relacionadas con la contaminación atmosférica.

Impacto en la biodiversidad y los ecosistemas: Estos factores son específicos del lugar y difíciles de cuantificar, por lo que generalmente se presentan desde una perspectiva cualitativa.

Riesgos asociados con accidentes: Es importante tener en cuenta los riesgos vinculados a las tecnologías energéticas, en contraste con la actividad normal.

Si bien la mitigación del cambio climático es un factor importante para considerar al evaluar el impacto ambiental de las diferentes fuentes de energía también es esencial tener en cuenta otros impactos ambientales y sociales. La elección de la fuente de energía más adecuada dependerá de una variedad de factores, incluido el contexto específico de cada país o región.

8. TRANSICIÓN ENERGÉTICA: HACIA UN MODELO BAJO EN CARBONO

Según el Grupo Intergubernamental de Expertos de Cambio Climático (IPCC), la transición hacia un sistema de bajo impacto en generación de carbono requiere un cambio estructural en los sistemas energéticos actuales. Para alcanzar niveles de estabilización de concentración de gases de efecto invernadero con un alto porcentaje de energías renovables, este cambio deberá ocurrir en las próximas décadas. La escala de tiempo para esta transición es más corta que las transiciones energéticas anteriores, como la del carbón al petróleo. La energía renovable debe integrarse en una estructura energética existente diseñada para combustibles fósiles. Esta integración presenta desafíos para lograr una alta penetración de energías renovables en el futuro.

Para lograr una reducción considerable de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero a largo plazo, es esencial aumentar la eficiencia del sector del transporte y eliminar gradualmente el carbono. Algunos criterios para reducir las emisiones relacionadas con el transporte incluyen:

Reducir la demanda de viajes, utilizar vehículos más eficientes, cambiar a modos de transporte más eficientes y reemplazar los combustibles derivados del petróleo por combustibles alternativos bajos o nulos en carbono.

Los biocombustibles líquidos, como el biodiésel y el biogás natural licuado (bio-GNL), son alternativas para descarbonizar el transporte marítimo. El biodiésel se puede usar en motores existentes sin modificaciones y tiene mejores propiedades que el bio-GNL. Sin embargo, los biocombustibles no son una solución definitiva para descarbonizar el transporte marítimo, sino una fuente complementaria para reducir las emisiones.[10]

El amoníaco (NH_3) y el hidrógeno (H_2) son combustibles prometedores para descarbonizar el transporte marítimo. Ambos son combustibles neutros en carbono con potencial a largo plazo. Sin embargo, enfrentan desafíos relacionados con su contenido de energía en comparación con los combustibles tradicionales. El amoníaco tiene una densidad de energía volumétrica más alta que el hidrógeno, lo que lo convierte en una opción más eficiente para el transporte y almacenamiento.

El metanol es una alternativa viable a corto plazo, ya que reduce las emisiones de NOx, SOx, partículas y CO_2. Su implementación ya está en marcha en motores de combustión interna.[10]

Es importante destacar que la transición energética requiere un enfoque integral que considere no solo la adopción de combustibles alternativos, sino también la mejora de la eficiencia energética en todos los sectores. La Organización Marítima Internacional (OMI) ha establecido objetivos para reducir la intensidad de carbono del transporte marítimo internacional.

9. SOSTENIBILIDAD: DEFINICIÓN Y PRINCIPIOS

Desarrollo sostenible se define como "el progreso que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades". Esta definición fue acuñada por la Comisión Brundtland en su informe “Nuestro Futuro Común” . Esta declaración subraya dos puntos clave: la importancia del largo plazo en el desarrollo sostenible y la conexión entre generaciones a través del bienestar, no solo de los recursos naturales.[2]

Sustentabilidad se diferencia de sostenibilidad en que se enfoca en la preservación de los recursos naturales para las generaciones futuras, mientras que sostenibilidad se centra en mantener el equilibrio entre el desarrollo económico, social y ambiental.
Conforme Tapia [2] algunos de los principios que sustentan el desarrollo sostenible incluyen:

Principio de impermanencia: Reconoce la transformación inevitable de los sistemas complejos.

Principio de las condiciones esenciales: Afirma que la vida depende de un sistema ecológico completo, no solo de organismos o especies individuales.

Sostenibilidad social: Involucra al gobierno, las organizaciones y la sociedad en la búsqueda del equilibrio entre el crecimiento económico, la equidad social y la protección del medio ambiente.

Sostenibilidad ambiental o ecológica: Se centra en la protección de la biodiversidad, los recursos naturales y la integridad de los ecosistemas, incluyendo la calidad del agua y el aire.

Sostenibilidad económica: Busca la rentabilidad de los procesos productivos de manera que satisfaga las necesidades humanas sin agotar los recursos naturales no renovables.

El desarrollo sostenible no busca detener el progreso, sino fomentarlo desde un enfoque más amplio que considere las necesidades de las generaciones presentes y futuras. La sostenibilidad, por su parte, argumenta que la naturaleza y el medio ambiente no son recursos ilimitados, por lo que su protección y uso racional son cruciales para el desarrollo social y la mejora de la calidad de vida.

Por otra parte, Rengifo y Arana [11] sostienen que los pilares de la sostenibilidad empresarial se pueden clasificar en tres grupos, económica, social y ambiental. Este enfoque, conocido como “The Triple Bottom Line”, busca un desarrollo que integre estos tres aspectos para asegurar la viabilidad de una empresa a largo plazo y se detalla lo siguiente de cada uno:

Pilar económico: Este pilar, centrado en la rentabilidad, es esencial para la supervivencia de cualquier empresa. Sin embargo, es fundamental considerar no solo la rentabilidad a corto plazo, sino también el valor que la empresa genera (o elimina) para la sociedad en el largo plazo.

Pilar s*ocial*: Este pilar se centra en la igualdad social y el bienestar de las personas. Una empresa socialmente sostenible busca impactar positivamente en sus empleados, clientes y la comunidad donde opera.

Pilar ambiental: Este pilar se centra en la protección ambiental o del planeta. Implica que las empresas deben ser conscientes del impacto que generan en el medio ambiente y tomar medidas para minimizar cualquier efecto negativo. Esto incluye un uso eficiente de los recursos, la reducción de emisiones y la gestión adecuada de residuos.

10. IMPORTANCIA DE LA SOSTENIBILIDAD EN LA LOGÍSTICA Y LA CADENA DE SUMINISTRO

Según Carillo Herrera [9], la logística y las cadenas de suministro son esenciales para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y disminuir la dependencia de las economías de las fuentes de energías no renovables, como los combustibles fósiles. La logística puede producir hasta un 75% de la huella de carbono de una empresa. Por esta razón, las partes interesadas en los procesos logísticos se han visto obligadas a abordar el tema de la sostenibilidad en sus operaciones. La importancia de la sostenibilidad en la logística y la cadena de suministro radica en lo siguiente:

Protege el medio ambiente: El transporte y la distribución de mercancías son componentes esenciales de la logística y la cadena de suministro. Sin embargo, estas actividades tienen un impacto negativo en el medio ambiente, como la contaminación atmosférica, la generación de ruido, accidentes y vibraciones.

Aumenta la competitividad de las empresas: Las empresas pueden aumentar sus ganancias y participación en el mercado si reducen los riesgos e impactos ambientales al mismo tiempo que mejoran la eficiencia ecológica.[12]

Mejora la imagen de una empresa: Las empresas que no implementan la sostenibilidad de manera adecuada corren el riesgo de dañar la imagen y el valor de su marca. Lo opuesto también puede ser cierto, una imagen de empresa "verde" puede aumentar las ventas de productos. [9]

Es rentable: Cambiar a una estrategia sostenible genera un mayor beneficio económico para todos los involucrados.**Asegura la eficiencia:** Las empresas deben comprender los impactos negativos de sus cadenas de suministro para rediseñar sus operaciones y mitigar el impacto ambiental.

Las empresas del sector logístico se han visto obligadas a abordar la sostenibilidad debido a:

Mayor conciencia ambiental: Existe una creciente preocupación ambiental por parte de los ciudadanos.

Expectativas cambiantes de los consumidores: La logística verde ha evolucionado debido a las expectativas cambiantes de los consumidores.

Regulaciones ambientales más estrictas: La logística verde ha evolucionado debido a regulaciones más estrictas.[1]

La logística sostenible se enfoca principalmente en reducir los efectos negativos del sector logístico en el medio ambiente, mientras que la logística sustentable considera los aspectos económicos y sociales de las actividades logísticas, buscando mejorar las condiciones económicas e intereses de la sociedad. En la práctica, la logística sustentable es un concepto más amplio que la logística sostenible. Las cadenas de suministro y la logística son fundamentales para la adopción y el desarrollo de la sostenibilidad a nivel global, ya que la primera concibe el producto desde la materia prima y la segunda se encarga del transporte y la distribución. La sostenibilidad puede implementarse a través de diversas actividades dentro de la cadena de suministro y el canal de distribución.[9]

11. LA LOGÍSTICA Y LA ENERGÍA EN EL MARCO DE LA SOSTENIBILIDAD - IMPACTO AMBIENTAL DEL TRANSPORTE Y LA LOGÍSTICA

El transporte y la logística tienen un impacto ambiental significativo debido a que el transporte esun componente crucial de la logística, utiliza grandes cantidades de combustibles fósiles para distribuir mercancías a nivel mundial. La quema de estos combustibles fósiles libera CO_2, lo que tiene un impacto negativo en el medio ambiente y la salud, de hecho, el transporte y la distribución son los componentes más tangibles y físicos de la logística y las cadenas de suministro, lo que los convierte en un punto focal en el debate sobre la sostenibilidad. [9]

Según Castillo Herrera [9] y Palermo García [1], además de las emisiones de CO_2, la logística es responsable de una serie de otros impactos ambientales negativos, como son: la contaminación atmosférica, ruido, accidentes, vibraciones, fragmentación territorial, contaminación acústica y derrames entre otros. Estos impactos negativos han obligado a las organizaciones a considerar la sostenibilidad de sus operaciones logísticas. Las empresas pueden tomar una serie de medidas para mitigar el impacto ambiental de sus operaciones de transporte y logística, entre ellas:

Utilizar modos de transporte más sostenibles: Los administradores de la cadena de suministro y los gerentes de logística deben considerar modos de transporte alternativos, como el transporte marítimo, ferroviario o el uso de vehículos eléctricos o híbridos, para reducir las emisiones de CO_2.

Optimizar las rutas de transporte: El enrutamiento y la programación eficientes pueden ayudar a maximizar la carga útil y la eficiencia del vehículo, minimizando la congestión y el tiempo de inactividad. Reducir los kilómetros recorridos por vehículo y aumentar el factor de carga también puede conducir a una reducción de las emisiones.

Mejorar la eficiencia del combustible: Mejorar la eficiencia del combustible de los vehículos, mediante el uso de combustibles alternativos o la implementación de una conducción eficiente, puede reducir significativamente los costos y el daño ambiental.

Utilizar embalajes sostenibles: El diseño de productos con embalajes más pequeños puede permitir una mayor densidad durante el transporte, lo que reduce los costos de transporte y las emisiones de CO_2. embalajes seguros, eficientes y eficaces, integrados en el sistema de embalaje, también puede apoyar la sostenibilidad.

Aprovechar el poder de negociación de los minoristas: Los minoristas, con su gran tamaño y poder de negociación, tienen la capacidad de influir en las prácticas sostenibles en toda la cadena de suministro, presionando a los proveedores de servicios logísticos para que adopten prácticas más ecológicas.

La relación entre la logística verde y el transporte está en constante evolución. La investigación en esta área se centra cada vez más en el uso de la tecnología para optimizar los procesos de transporte. las futuras investigaciones probablemente seguirán explorando tecnologías de validación limpias como el uso de inteligencia artificial en el enrutamiento de vehículos, dado que ayudan de forma significativa a mejorar la relación entre la logística verde y el transporte al optimizarlos, especialmente en sectores como el transporte marítimo que si bien es fundamental para el crecimiento económico mundial, las emisiones contaminantes de los barcos tienen un impacto directo en la salud humana y el medio ambiente.

12. LA HUELLA DE CARBONO EN LA CADENA DE SUMINISTRO

Una de las razones por las que la huella de carbono tiene mayor impacto en la logística, esta asociada al gran impacto que producen las emisiones de una empresa de este rubro, según el Consejo de Profesionales de la Cadena de Suministro de EE. UU. [13]

Para lograr una cadena de suministro sustentable, se debe buscar minimizar el impacto ambiental y asegurar un impacto social positivo, al mismo tiempo que se entrega el mejor servicio al menor costo. Según Guanotuña-Timbila, [14]. Una empresa puede volverse "carbono neutral" al realizar un inventario de los gases de efecto invernadero que se generan en su cadena de suministro. Esto implica tener claridad sobre:

- Cuáles son los gases de efecto invernadero.
- Qué actividades los generan.
- Qué fuentes se deben incluir en la contabilización.
- Algunas estrategias para lograr una sustentable son:
- Consumir eficientemente los combustibles.
- Optimizar los activos productivos y logísticos.
- Aprovechar al máximo las materias primas.
- Minimizar el impacto ambiental de los procesos productivos.
- Reducir los residuos y gestionar adecuadamente los desperdicios.

Es importante destacar que la medición de las emisiones debe incluir otros gases de efecto invernadero además del dióxido de carbono (CO_2), y deben convertirse a su equivalente en CO_2 utilizando estándares internacionales.

13. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL TRANSPORTE

El transporte marítimo juega un papel crucial en el comercio mundial, pero también contribuye a las emisiones globales. Para abordar este desafío, la eficiencia energética en el transporte marítimo se ha vuelto esencial. La (OMI) ha establecido una estrategia para reducir las emisiones de (GEI) de los buques. [15][16]

13.1 Medidas para mejorar la eficiencia energética en el transporte

Optimizar rutas y logística

- Planificar rutas eficientes para minimizar las distancias recorridas.
- Consolidar envíos para optimizar la capacidad de carga.
- Utilizar sistemas de gestión de transporte para optimizar las operaciones.
- Adoptar tecnologías de propulsión más eficientes: Utilizar motores marinos más eficientes, como los motores eléctricos, que ofrecen hasta un 90% de eficiencia en comparación con el 30-40% de los motores de combustión interna.

Explorar tecnologías emergentes: la propulsión eléctrica, celdas de combustible y reactores nucleares.

Implementar combustibles alternativos: Transición hacia combustibles más limpios como el gas natural licuado (GNL), que reduce las emisiones de GEI en comparación con los combustibles fósiles tradicionales.

Investigar y utilizar combustibles renovables: Hidrógeno verde, metanol, amoníaco y biocombustibles.

Fomentar el uso de vehículos eléctricos o híbridos.

Mejorar la eficiencia operativa de los buques: Implementar un Plan de Gestión de la Eficiencia Energética del Buque para optimizar el consumo de combustible y reducir las emisiones.

Utilizar sistemas de recuperación de calor residual; Mejoras de la eficiencia energética.

Realizar un mantenimiento adecuado: Limpieza regular de las partes sumergidas del buque y la hélice.

Implementar políticas e incentivos: Establecer normas de eficiencia energética y regulaciones para el transporte marítimo, como las establecidas por la OMI.

Incentivar la adopción de tecnologías limpias y eficientes: Incentivos financieros y fiscales.

Promover la colaboración e intercambio de conocimientos: Principalmente entre los países para impulsar la innovación.

Es importante destacar que la eficiencia energética en el transporte no se limita solo al transporte marítimo. La búsqueda de combustibles alternativos, la optimización de rutas y la adopción de vehículos más eficientes son estrategias aplicables a otros modos de transporte, como el terrestre y aéreo. La transición hacia un transporte más sostenible requiere un enfoque integral que combine la innovación

tecnológica, la implementación de políticas efectivas y la colaboración entre los diferentes actores del sector.

13.2. Regulación y Políticas para una Logística Energéticamente Eficiente y Sostenible
Las políticas públicas juegan un papel crucial en la transición hacia una logística más sostenible y eficiente en el uso de la energía. Es necesario un cambio de paradigma en la formulación de políticas para el sector transporte, adoptando un enfoque integrado y sostenible que considere la logística y la movilidad como elementos centrales. Esto implica la acción coordinada de múltiples actores, incluyendo gobiernos, empresas y la sociedad civil.[6]

13.3. Gestión de la Flota y Renovación de Vehículos
La gestión de flotas, especialmente en el contexto de la sostenibilidad, implica optimizar el uso de vehículos para minimizar el consumo de combustible y las emisiones. Algunas estrategias clave incluyen maximizar la carga útil, minimizar el tiempo de inactividad de los vehículos y capacitar a los conductores en prácticas de conducción eficiente. La selección del vehículo adecuado para cada tarea también es crucial, al igual que el uso de las TIC para optimizar rutas y programación.[5][9]

13.4. La renovación de vehículos
Particularmente en el transporte marítimo, es esencial para una gestión de flotas sostenible. La presión para la descarbonización ha llevado a la industria a considerar combustibles alternativos y tecnologías de propulsión más limpias. Sin embargo, los armadores se enfrentan a la incertidumbre sobre las mejores opciones y los costos asociados con la renovación de sus flotas, especialmente considerando la larga vida útil de los buques **[8]**

Dentro de los puntos clave a considerar, según el informe de transporte marítimo 2023, se detacan:

Envejecimiento de la flota: La flota mundial de transporte marítimo está envejeciendo, lo que presenta desafíos para la renovación.

Incertidumbre tecnológica: La incertidumbre sobre los combustibles y las tecnologías verdes dificulta la toma de decisiones de inversión.

Costos de renovación: Los altos costos de construcción naval y la limitada capacidad de los astilleros complican aún más las decisiones de renovación.

Necesidad de inversión: Se necesita inversión para modernizar las flotas y adoptar tecnologías de bajas emisiones de carbono.

14. GESTIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO SOSTENIBLE

La gestión de la cadena de suministro sostenible busca minimizar el impacto ambiental y asegurar un impacto social positivo. Se trata de una decisión de negocio que ofrece beneficios y un verdadero retorno de la inversión[9] Como todo cambio de procedimientos en cualquier organización es menester que el compromiso de la dirección en el sentido del avance sea claro consistente y permanente. Es importante establecer convenios con los proveedores y clientes para que sea claro el compromiso de mejora en la cadena logística y tomar decisiones basadas en datos para una gestión más sostenible.

15. CASOS DE ESTUDIO

Logística Energéticamente Eficiente y Sostenible
UPS es una empresa de transporte y logística que ha implementado iniciativas de sostenibilidad en áreas como comunidad, mercado, lugar de trabajo y medio ambiente. Algunos ejemplos son el uso de biocombustible en sus vehículos y la reducción del ruido y la emisión de CO_2 de su flota aérea en un 3% anual. UPS también ha mejorado la economía del combustible por carretera en un 28,9% al incluir en su flota vehículos híbridos de suministro eléctrico-diésel. [17]
TNT NV es una empresa líder en operaciones de logística global que ha implementado iniciativas para convertir la sostenibilidad en parte de su cultura empresarial. Su programa PlanetMe busca reducir las emisiones de CO_2 y aumentar la eficiencia de las operaciones a nivel global, con el objetivo de convertirse en la primera empresa de transporte con cero emisiones de CO_2 [9]
Mercadona es un minorista español, uno de los más grandes del mundo, implementa su estrategia de "Siempre precios bajos" a través de un modelo de Gestión de la Calidad Total (TQM) que busca eliminar los residuos a lo largo de toda la cadena de suministro, desde los proveedores hasta los almacenes y supermercados, mediante programas de sostenibilidad. [9]

Transporte Marítimo

Según Elizalde, P. A. [18], el transporte marítimo, aunque vital para el comercio mundial, genera fuertes emisiones de GEI , principalmente CO_2, lo que impacta negativamente al medio ambiente y a la salud humana. Se estima que el sector marítimo produce cerca del 3% de las emisiones globales de CO2 y entre el 1,6% y 4,1% de las emisiones mundiales de CO_2 resultantes de la quema de combustibles por todos los sectores productivos. Adicionalmente, es responsable de un 15% de las emisiones de óxido de nitrógeno (NOx) y 8% de las emisiones de óxido de azufre (SOx) en todo el mundo.[17]

Para enfrentar este desafío, la industria marítima está en camino a la descarbonización, alejándose de los combustibles fósiles mediante:

Regulación y Acuerdos Internacionales: Diversos organismos, como la OMI, han establecido regulaciones para reducir las emisiones de GEI. Un ejemplo es el Convenio MARPOL, que incluye medidas para descarbonizar el sector

Estrategias de la OMI: La Estrategia de la OMI para 2023 busca una maximización de la eficiencia energética y la transición de combustibles fósiles a renovables para 2030.

Medidas Basadas en el Mercado (MBM): La OMI está considerando la implementación de MBM para reducir las emisiones, incluyendo el establecimiento de estándares para el contenido carbónico de los combustibles marítimos.

Combustibles Alternativos: Se están investigando combustibles alternativos como el hidrógeno verde, el amoníaco y el gas natural licuado (GNL) para reducir el impacto ambiental del transporte marítimo.

16. DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES

Barreras para la Adopción de una Logística Energéticamente Eficiente y Sostenible

Como contexto general de las barreras se puede enunciar que: “Las importantes restricciones que presentan las políticas públicas sectoriales en América Latina y el Caribe para resolver las actuales demandas de logística de carga y movilidad de pasajeros, hacen necesario un nuevo paradigma de políticas. La ausencia de una visión integrada de las políticas de infraestructura, logística, movilidad y transporte, como también la falta de criterios de sostenibilidad en el diseño y ejecución de las políticas, conllevan el desaprovechamiento de todo el potencial que la logística y la movilidad representan para alcanzar un crecimiento económico con inclusión social“ Jaimurzina et al. [5]

x

Dentro de las barreras específicas se pueden detallas las siguientes:

Nivel empresarial: Ausencia de un enfoque holístico, las empresas no siempre consideran el impacto ambiental y social en todas las etapas de la cadena de suministro.

Falta de inversión: La implementación de tecnologías y prácticas sostenibles requiere inversiones iniciales que no todas las empresas están dispuestas a realizar.

Falta de conocimiento: Existe un desconocimiento sobre los beneficios económicos y la viabilidad de las prácticas de logística verde.

Resistencia al cambio: Adaptarse a nuevas tecnologías y prácticas puede ser complejo y generar resistencia en las empresas.

Nivel gubernamental y regulatorio: Falta de integración de políticas: La falta de coordinación entre las políticas de transporte, energía e industria dificulta la creación de un entorno favorable para la logística sostenible.

Ausencia de criterios de sostenibilidad en infraestructura: Los proyectos de infraestructura no siempre integran criterios de sostenibilidad desde su planificación, lo que limita el desarrollo de un sistema de transporte sostenible.

Regulaciones ambientales limitadas: La falta de regulaciones ambientales más estrictas en algunos países no incentiva la adopción de prácticas sostenibles en la logística.

De las barreras tecnológicas se puede decir que:

Falta de madurez de las tecnologías limpias: Si bien existen tecnologías prometedoras, como el hidrógeno, aún se encuentran en desarrollo y requieren optimización para su implementación a gran escala.

Costo de las tecnologías verdes: La inversión inicial en tecnologías más limpias, como vehículos eléctricos o sistemas de energía renovable, puede ser alta y poco competitiva en principio.

Sobre las barreras relacionadas con el mercado:

Falta de demanda de servicios sostenibles: La conciencia ambiental aún no está generalizada, y la demanda de servicios logísticos sostenibles no es lo suficientemente alta como para impulsar un cambio significativo.

Competencia de alternativas tradicionales: Los combustibles fósiles y las prácticas logísticas tradicionales siguen siendo, en muchos casos, más económicas a corto plazo, lo que dificulta la competencia de las alternativas sostenibles.

La creación de una cadena de suministro sostenible implica optimizar el consumo de combustible, los activos productivos y logísticos, así como gestionar la huella de carbono y trabajar con las comunidades. Implementar estrategias sustentables e innovadoras puede generar beneficios económicos, reducir el consumo de recursos naturales y las emisiones de gases de efecto invernadero [19]

17. OPORTUNIDADES ECONÓMICAS DE LA LOGÍSTICA SOSTENIBLE

Mayor Competitividad: Mejorar la logística y la movilidad puede aumentar la competitividad nacional e internacional al reducir los costos de transporte, mejorar la conectividad y optimizar las cadenas de suministro.
Reducción de Costos: La logística sostenible, incluyendo la eficiencia energética en el transporte, puede generar ahorros significativos en combustible y costos operativos para las empresas.

Innovación y Nuevas Tecnologías: La búsqueda de soluciones sostenibles en logística fomenta la innovación y el desarrollo de nuevas tecnologías, como combustibles alternativos, sistemas de transporte inteligentes y plataformas logísticas digitales.
Mejora en la Imagen y el Valor de Marca: Adoptar prácticas sostenibles en la logística puede mejorar la imagen de una empresa y fortalecer su marca ante los consumidores, que cada vez se preocupan más por el medio ambiente.
Acceso a Nuevos Mercados: Los mercados desarrollados están mostrando una creciente demanda de productos y servicios sostenibles. Implementar prácticas de logística verde puede abrir oportunidades para acceder a estos mercados.

EL ROL DEL GOBIERNO EN LA LOGÍSTICA Y LA MOVILIDAD SOSTENIBLE

El rol del sector público en la logística y la movilidad es fundamental para alcanzar un desarrollo sostenible. La gestión pública es imprescindible para organizar, administrar y regular estos sectores, que son claves para el desarrollo económico y social de los países. [19]
Puntos clave

Intervención necesaria: El Estado no puede desligarse de los sectores de logística y movilidad, y su intervención es crucial para un desarrollo sostenible. Se requiere una política pública definida democráticamente que establezca un curso de acción claro.

Definición de condiciones: Si bien las actividades logísticas son llevadas a cabo principalmente por el sector privado, el estado define las condiciones para su desarrollo. Esto se logra a través de la provisión de infraestructura, la regulación de servicios de transporte, el apoyo al desempeño privado (como la capacitación) y la gestión de procesos para facilitar el comercio.

Coordinación intersectorial: Las políticas de logística y movilidad deben estar alineadas con otras políticas nacionales como las de producción y competitividad, energía, ordenamiento territorial, integración regional, sociales, promoción de turismo, ambientales, salud pública y recursos naturales.

Visión de largo plazo: Es crucial superar la visión cortoplacista, enfocada en proyectos específicos dentro de un solo periodo gubernamental. Se requiere una política de estado que establezca un horizonte de tiempo amplio y una institucionalidad sólida que trascienda los cambios políticos.

Planificación y financiamiento: El Estado debe asegurar una planificación estratégica, un presupuesto adecuado y una gestión eficiente de la contratación y la fiscalización en el sector. También debe definir mecanismos de financiamiento adecuados, considerando la participación público-privada.

Regulación efectiva: El Estado debe formular e implementar una política sistémica e integrada, desarrollando instrumentos de regulación y fiscalización efectivos. Esto incluye la asignación de costos completos a los modos de transporte, considerando las externalidades para la sociedad, y la promoción de la competencia en un marco regulatorio adecuado.

18. CONCLUSIONES.

- Es importante el aporte que la logística puede hacer a la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero y es una preocupación que comienza a tomar entidad propia por su aporte significativo en el resultado global.
- Estamos en una etapa de búsquedas, son innumerables las líneas de trabajo abiertas globalmente para la reducción de los GEI especialmente por la búsqueda de nuevas fuentes de energía no contaminantes y hasta el momento ninguna de ellas parece mostrarse superior a las demás como para construir un nuevo estándar mundial.
- Hay mucho para hacer aún, considerando que no hay peor contaminación que la innecesaria, siendo que el aumento de la eficiencia y el uso racional de la energía disponible también permitirán reducir el impacto y aumentar la sostenibilidad de la logística.
- La implementación de tecnologías limpias en el sector marítimo es esencial para lograr la sostenibilidad ambiental. Si bien existen desafíos, la innovación tecnológica, las regulaciones internacionales y las inversiones estratégicas son clave para avanzar hacia un transporte marítimo más limpio y eficiente.
- La gestión de la cadena de suministro sostenible se ha convertido en un factor crucial para el éxito de las empresas, ya que no solo beneficia al medio ambiente y a la sociedad, sino que también mejora la rentabilidad y la imagen de la empresa. La implementación de prácticas sostenibles en la cadena de suministro ya no es una opción, sino una necesidad para las empresas que buscan ser competitivas y responsables.
- Las prácticas propuestas para mejorar el transporte marítimo son válidas para todas las demás modalidades de transporte y resulta igual de deseable su aplicación

19. REFERENCIAS.

[1] García, B. P., & Salazar-Velázquez, R. (2023). Transporte en la logística verde: análisis bibliométrico. Inquietud Empresarial, 23(2), e15998-e15998.
[2] Tapia, G. (2023). Sustentabilidad, desarrollo e indicadores. Disponible en https://www.sadaf.com.ar/index.php?act=showPublicaciones
[3] Tapia, G. (2023). Sustentabilidad, desarrollo e indicadores. 43 Jornadas Nacionales de Administración Financiera Septiembre 21 y 22, 2023. https://economicas.unsa.edu.ar/afinan/informacion_general/sadaf/xliii_jornadas/sustentabilidad_-desarrollo-e-indicadores.-punto-de-partida-para-el-analisis-economico-financiero.pdf
[4] Timbila, L. G. G., Vega, R. F. V., Cisneros, V. A. G., & Molina, P. G. V. (2022). La logística verde.¿ Es la planificación de rutas del futuro?. Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional, 7(4), 17.
[5] Jaimurzina, A., Pérez, G., & Sánchez, R. (2015). Políticas de logística y movilidad para el desarrollo sostenible y la integración regional. Publicación de las Naciones. Unidas ISSN 1680-9017 Naciones Unidas, noviembre de 2015. Santiago de Chile.
[6] IPCC Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático 2011, ISBN 978-92-9169-331[7] López Restrepo, J. C., Castillo Herrera, J. C., Tibaquirá Giraldo, J. E., & Ríos Osorio, D. A. (2022). Escenarios de emisiones hacia 2030: potencial de reducción de la presión ambiental provocada por los autobuses del transporte público en Bogotá, Buenos Aires, Ciudad de México, Santiago y São Paulo.
[8] Informe sobre el Transporte Marítimo 2023: unctad.org/rmt Printed at United Nations, Geneva – 2316552 (S) – November 2023 – 229 – UNCTAD/RMT/2023 (Overview)
[9] Herrera, K. C. (2017). Estrategias sustentables en logística y cadenas de suministro. *LOGINN Investigación Científica y Tecnológica*, *1*(1).
[10] Castillo Aponte, I. (2022). Estudio e implementación de combustibles alternativos a los tradicionales en el camino hacia la descarbonización del transporte marítimo (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
[11] Rengifo Mejia, N., & Arana Bejarano, C. (2024). *La logística verde una ventaja competitiva en el Comercio Internacional para las pymes del sector de confecciones de Tuluá Valle del Cauca* (Bachelor's thesis, Comercio Internacional).
[12] Timbila, L. G. G., Vega, R. F. V., Cisneros, V. A. G., & Molina, P. G. V. (2022). La logística verde. ¿ Es la planificación de rutas del futuro?. Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional, 7(4), 17.
[13] Galván, J. L. L., & Rivera, M. Á. H. (2023). Optimización, sustentabilidad y políticas públicas: un enfoque robusto.
[14] Guanotuña-Timbila, L. G., Vega, R. F. V., Cisneros, V. A. G., & Molina, P. G. V. (2022). La logística verde.¿ Es la planificación de rutas del futuro?. Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional, 7(4), 17.
[15] ANEXO 15 RESOLUCIÓN MEPC.377(80) (adoptada el 7 de julio de 2023) ESTRATEGIA DE 2023 DE LA OMI SOBRE LA REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES DE GEI PROCEDENTES DE LOS

BUQUES. Disponible en: https://imocloud.sharepoint.com/MS/SWPU/MEPC/80/MEPC 80-17-Add.1.docx
[16] Batista, R. R. D. C. (2023). Descarbonização de combustíveis marítimos (Bachelor's thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Norte).
[17] Pazos Delgado, V. (2023). Perspectiva futura del transporte marítimo de gas natural licuado.
[18] Elizalde, P. A. (2022). Los ODS y el transporte marítimo en México: el marco legal internacional para alcanzar las metas del ODS 3 buena salud y del ODS 13 acción por el clima. Revista de la Facultad de Derecho y Ciencias Políticas, 52(136), pp. 24-38. doi: https://doi.org/10.18566/rfdcp.v52n136.a02
[19] Cadena de Suministro Sustentable: Ser verde es redituable. Sintec Consulting, visto en : https://sintec.com/p_innovador/ser-verde-jamas-fue-tan-redituable-cadena-de-suministro-sustentable/

" LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS COMO FUENTE DE ENERGÍA "

Machalec, Jorge; Devoassouxx Andres

Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional Avellaneda
jmachalec@fra.utn.edu.ar[1]

RESUMEN

La fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos presenta distintas alternativas tecnológicas para su tratamiento, una de ellas es el proceso de biodigestión y el aprovechamiento energético del biogás generado. El objetivo del trabajo es determinar la producción y composición del biogás y analizar los resultados sobre una muestra caracterizada. Para ello, se partió de una alimentación de composición definida y sobre la base de condiciones experimentales precisadas en cuanto a temperatura, humedad y relaciones carbono/nitrógeno, se realizó la corrida en un biodigestor durante 30 días, en ese período de tiempo se registraron correspondientes a volumen de biogás producido y composición del biogás. Los resultados de la cromatografía gaseosa sobre el biogás generado muestran una concentración molar de 59,39% de CH_4, 31,27% de CO_2 y 9,35% de N_2. Los resultados obtenidos destacan el potencial energético del biogás proveniente de los residuos domiciliarios comparable al obtenido con sustratos de origen agroindustrial.

Palabras Claves: Biodigestión, residuos sólidos urbanos, metano.

ABSTRACT

The organic fraction of urban solid waste presents different technological alternatives for its treatment, one of them is the biodigestion process and the energy use of the biogas generated. The objective of the work is to determine the production and composition of biogas and analyze the results on a characterized sample. To do this, we started with a feed of defined composition and on the basis of specified experimental conditions in terms of temperature, humidity and carbon/nitrogen ratios, the run was carried out in a biodigester for 30 days, in that period of time the corresponding a volume of biogas produced and composition of the biogas. The results of gas chromatography on the generated biogas show a molar concentration of 59.39% of CH_4, 31.27% of CO_2 and 9.35% of N_2. The results obtained highlight the energy potential of biogas from household waste comparable to that obtained with substrates of agroindustrial origin.
.

Keywords: Biodigestion, municipal solid waste, methane.
.

1. INTRODUCCIÓN

La disposición final de los residuos domiciliarios en los rellenos sanitarios se constituye como un factor de presión sobre el medioambiente (Tchobanoglous;1982) y a consecuencia de ello surge la necesidad de estudiar alternativas de tratamiento que basadas en fundamentos científicos permitan dar respuesta al problema señalado.

Dentro de las posibles alternativas al tratamiento de los RSU se encuentra el proceso de biodigestión dirigido al tratamiento de la Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos (FORSU), que además de ofrecer una alternativa al tratamiento convencional de los residuos domiciliarios en permite generar energía por medio de la producción de biogás (Cuesta Santianes; *s.f*) además de abonos ricos en fósforo y nitrógeno (Burkman; 2012). entre otros nutrientes de importancia.

La tecnología de biodigestión para el tratamiento de los FORSU debe ser desarrollada de forma adecuada teniendo en cuenta las características y la composición química del sustrato (Forster-Carneiro; *s.f.*), variables complejas de caracterizar en función de su procedencia, detectando nutrientes y sustancias contaminantes de los procesos microbiológicos que transcurren durante el proceso de la fermentación anaeróbica, y las variables del proceso de biodigestión a adoptar (temperatura, agitación, contenido de humedad y otras) que son determinantes de la viabilidad del proceso.

Existen numerosas aplicaciones de biodigestores anaeróbicos para el tratamiento de diversos sustratos de origen agroindustrial y también de la FORSU, sin embargo, para este último caso no se contempla la amplia heterogeneidad de la alimentación posible de disponer.

El presente estudio de caso indaga sobre la aplicación de la tecnología de biodigestión sobre una muestra caracterizada de residuos domiciliarios de la localidad de Avellaneda con el objetivo de analizar la utilidad de la tecnología para el tratamiento de los residuos domiciliarios y su aprovechamiento energético.

2. DESARROLLO

El trabajo de investigación se realizó sobre una alimentación caracterizada de residuos domiciliarios desagregados en las siguientes categorías: vegetales, farináceos, grasas y lácteos. Caracterización realizada en trabajos previos de investigación basada en la composición de los RSU de diversas muestras colectadas en el partido de Avellaneda. La composición de la muestra caracterizada se encuentra descripta en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición de la mezcla de alimentación

Composición de los RSU	Porcentaje
Vegetales	86,35%
Farináceos	12,45%
Grasos	0,93%
Lácteos	0,26%

Sobre la misma se realizaron determinaciones analíticas en el Laboratorio de ensayos especiales del Departamento de Ingeniería Química de UTN FRA, al efecto de identificar características físicas y su composición química, para ello se determinaron los parámetros de acuerdo a las técnicas analíticas que se describen en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros y técnicas analíticas empleadas

Parámetro	Método analítico
Humedad	Standar methods 2540 B
Nitrógeno	Hacha 8075
Fósforo	Standar methods 4500C modificado
DBO	Manométrico Standar methods Merck
DQO	Standar methods 5220 D

Los contenidos de carbono orgánico total, hierro y calcio de la muestra caracterizada (Bernal Calderón; 2011) se obtuvieron por medio de las correlaciones que se describen en la Tabla 3.

Tabla 3. Correlaciones utilizadas

Elemento	Correlación utilizada
Carbono	$log\ (COT) = 1{,}176 \log MS - 0{,}708$
Calcio	$Ca = logMS * 3{,}807 - 4{,}286$
Hierro	$Fe = logMS * 289{,}6 - 318{,}4$

Donde:

(COT) Carbono orgánico total (g/Kg)
MS: Materia seca (% P/P)
Ca: calcio (mg/kg)
Fe: hierro (mg/kg)

Para la investigación planteada se realizó la digestión en condiciones anaeróbicas de los FORSU a una temperatura de 36°C, en un equipo de digestión compuesto por el biodigestor que cuenta con control de temperatura, ingreso para reactivos y el tanque de recolección de biogás (Figura 1) que contiene HCl 2%. El volumen de biogás producido se calculó por volumen de líquido desplazado

La experiencia se realizó adoptando las siguientes condiciones operativas: alimentación con un contenido de 30% de sólidos y relación C/N:16 (Silva Vinasco; *s.f*). Se realizó la trituración del ustrato hasta un tamaño de 8 mm y se agregó sacarosa para lograr la relación C/N establecida para la experiencia, el biodigestor fue cargado con 2015 g de alimentación. El tiempo de retención hidráulico fue de 30 días en condiciones anaeróbicas y se mantuvo el medio en valores de entre entre 6 y 8 unidades de pH con el agregado de NaOH.



Figura 1. Equipo biodigestor

Las mediciones de composición de biogas durante la experiencia se realizaron con un aparato de Orsat (Figura 2) con el que se determinó la concentración de metano como componente gaseoso de interés. La medición se hizo en forma indirecta por absorción del CO_2 del biogas en hidróxido de potasio.



Figura 2. Equipo de Orsat

Además de las mediciones hechas en el equipo Orsat se determinó la composición de metano en la mezcla gaseosa por cromatografía gaseosa en un equipo Hewlet Packard 5890 A, con detector de conductividad térmica perteneciente al laboratorio Inlab S.A.

3. RESULTADOS

Respecto del análisis de la muestra caracterizada se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados de laboratorio

Parámetro	Resultados	UNIDAD
Humedad	77,8	%
Nitrógeno	1,89	g/Kg
Fósforo	1,17	g/Kg
DBO	5000	mg/L
DQO	11000	mg/L

Los resultados obtenidos por aplicación de las correlaciones indicadas, se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Resultado de las correlaciones

Parámetro	Resultado	UNIDAD
Materia Seca	22,2	%
COT	7,5	g/kg
Contenido Ca	0,8	mg/kg
Contenido Fe	71,5	mg/kg

Los resultados obtenidos sobre el cálculo de volumen de biogás generado en base a las condiciones de proceso se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Resultados de la corrida realizada

Día	Volumen de biogás (cm^3)/Kg alimentación húmeda. día
3	250
6	480
8	680
12	800
16	720
19	600
23	690
26	500
30	400

De los resultados obtenidos se observa una tasa de producción creciente de biogás durante los primeros 12 días, momento en el cual se alcanza la producción máxima de 800 ml de biogás/ Kg alimentación húmeda. día, momento en el que comienza a disminuir la tasa diaria de producción de biogas Figura 3. Durante los últimos 7 días se observa un descenso sostenido en la tasa de producción de biogás

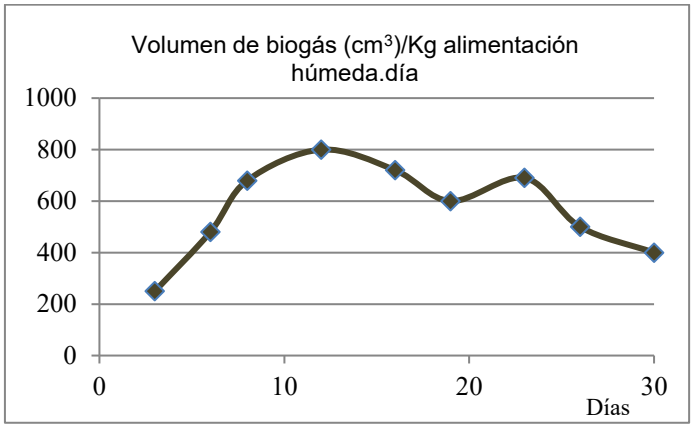


Figura 3. Producción de biogas

La composición de metano en la mezcla gaseosa se mantuvo oscilando en torno a un valor promedio de 56,25% entre el día 12 y 23 de la experiencia medido con equipo Orsat (Tabla 7).

Tabla 7. Metano en biogás

Día	Metano % (en volumen)
12	54
16	58
19	55
23	56

La comatografía gaseosa sobre una muestra tomada de biogàs tomada a los 12 días de inicio de la corrida muestra los picos correspondientes a CO_2, O_2, N_2 y CH_4 (Figura 4)

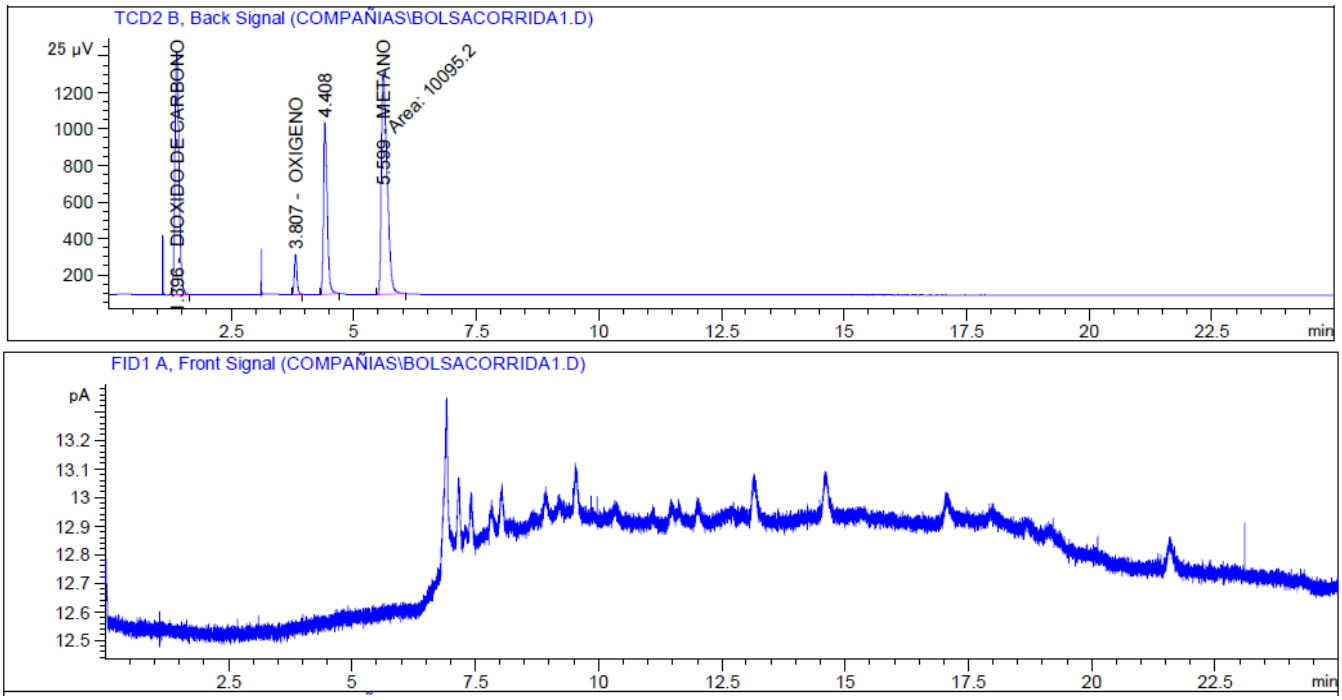


Figura 4. Cromatograma

La integración de las áreas de los picos del gráfico y la determinación de la composición gaseosa se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Resultados del cromatograma.

Componentes gaseosos detectados	**Areas**	**Area*FR**	**%Molar**
Nitrógeno	2033,41793	8,32	9,35
Dióxido de Carbono	7677,998	27,84	31,27
Metano	10095,249	52,89	59,39
Total		89,06	100

El resultado muestra a la mezcla gaseosa con un 59,39% de metano, 31,27% de CO_2 y 9,35% de N_2, resultado que indican la posibilidad de ser utilizados

4. CONCLUSIONES

La producción de biogás generado a partir de la muestra caracterizada de la FORSU, encuentra el máximo valor luego de transcurridos 12 días del comienzo de la experiencia, posterior al tiempo indicado se aprecia un descenso en la tasa de producción que es mucho más significativa a partir del día 23 y hasta el día 30 de transcurrido la experiencia. Indicando que en el modo operativo batch y para las condiciones de proceso seleccionadas el rendimiento máximo es de 11 días.

Las composiciones de metano se encuentran en el rango de composiciones obtenidas por biodigestión de diversos sustratos de origen agroindustrial, lo que indica que la muestra caracterizada como sustrato de proceso de biodigestión genera biogás de poder calorífico comparable.

La medición de metano en la mezcla gaseosa hecha con el equipo Orsat resultó en una diferencia de 9,08 % menor a la obtenida por medición por cromatografía gaseosa.

Resulta importante seguir investigando el comportamiento de la alimentación caracterizada en condiciones operativas diferentes como así también en las mediciones de metano al efecto de confirmar las tendencias.

.

. REFERENCIAS.

Bernal Calderón, M.P.; Alburquerque Méndez, J.A.; Bustamante Muñoz, M.A.; Carrillo, R.C. (2011). “Guía de utilización agrícola de los materiales digeridos por biometanización”.CSIC

Burkman, M.; Butti, M.; Cardozo, F.; Huerga I.R.;Venturelli L. (2012). “Construcción participativa de biodigestores familiares en Escuelas Agrarias.”.*I Congreso Santafesino de Agroecología*. Rosario. Argentina.

Cuesta Santianes, M., J.; Sánchez, F. M.; Crespo, G.V.; Villar Fernández, S. (*s.f*) “Informe de vigilancia tecnológica. Situación actual de la producción de biogás y su aprovechamiento”. Fundación Madrid para el conocimiento.

Forster-Carneiro, T.; Fernández, L.A.; Pérez García, M.; Romero García, L.I.; Álvarez Gallego C.J.; Sales, D. (*s.f.*). “*Biometanización de la fracción orgánica del residuos sólido urbano: proceso Sebac*”. Dept. de Ingeniería Química, Tecnología de Alimentos, y Tecnologías del Medio Ambiente, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales. Universidad de Cádiz.

Silva Vinasco, J.P. (*s.f*).”*Tecnología del biogás*”. Universidad del Valle-Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente.

Tchobanoglous, G.; Theissen, H.; Eliassen, R. (1982) “Desechos sólidos. Principios de ingeniería y administración”. *Ambiente y los Recursos Naturales Renovables.*

Aproximación a la Producción Sustentable en el Sector PyME -Enfoque Mediante Empleo de Herramientas de Gestión de la Calidad-

Sacco, Alfonso Víctor; Bobbio Mandolino, Franco; Cavacini, Antonella Soledad

Facultad de Ingeniería, Universidad del Salvador
alsacco@usal.edu.ar; f.bobbiomandolino@usal.edu.ar; antonella.cavacini@usal.edu.ar

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se propone estudiar la adopción de los conceptos de Producción Sustentable para el ámbito del sector PyME, lo cual se refiere a minimizar el impacto ambiental, social y económico de las actividades productivas a lo largo de toda la cadena de valor. En este contexto, hemos realizado un Estudio de Campo aplicado a una industria alimentaria del sector de elaboración de productos panificados.

Considerando que la temática reviste carácter multidisciplinario, nuestro enfoque se concentró en la Reducción de consumos y en el Aumento de la eficiencia de los recursos productivos. A través del análisis de los datos recolectados, se evidenció la convergencia del empleo de Herramientas de Gestión de la Calidad con el logro de mejoras significativas en la Sostenibilidad de la actividad.

Planteamos la siguiente pregunta de Investigación: *¿Se puede ganar en Sustentabilidad del Negocio en el ámbito PyME mediante el empleo de herramientas de Gestión de Calidad que a su vez tiendan a la reducción de costos?*

La respuesta se ajustará a aspectos relevados de la realidad del sector PyME, como lo son la falta de un plan que indique qué hacer y qué medir para apreciar la mejora en los resultados que se anhelan, y la falta de vinculación (causa/efecto) de las iniciativas que se llevan a cabo con las metas comerciales u objetivos que se persiguen alcanzar.

Se analizó la literatura que trata al respecto, verificándose su adaptabilidad a nuestro ámbito PyME; proponiéndose luego una Metodología de simple aplicación que evidencia la vinculación existente entre las herramientas de Gestión de la Calidad, la Sustentabilidad Productiva y la Reducción de Costos que justifican su adopción.

Palabras Claves: Sustentabilidad – Gestión de la Calidad - PyME (Pequeña y Mediana Empresa) - Productividad – Reducción de Costos.

ABSTRACT

In this research work, it is proposed to study the adoption of the concepts of Sustainable Production for the SME sector, which refers to minimizing the environmental, social and economic impact of productive activities throughout the entire value chain. In this context, we have carried out a Field Study applied to a food industry in the bakery products manufacturing sector.

Considering that the topic is multidisciplinary, our approach focused on the Reduction of consumption and the Increase in the efficiency of productive resources. Through the analysis of collected data, the convergence of the use of Quality Management Tools with the achievement of significant improvements in the Sustainability of the activity was evident.

We pose the following Research Question: Can Business Sustainability be gained in the SME field through the use of Quality Management tools that in turn tend to reduce costs?

The response will be adjusted to identified aspects of the reality of the SME sector, such as the lack of a plan that indicates what to do and what to measure to appreciate the improvement in the desired results, and the lack of linkage (cause/effect) of the initiatives that are carried out with the commercial goals or objectives that are sought to be achieved.

The literature dealing with this matter was analyzed, verifying its adaptability to our SME field; then proposing a simple application Methodology that shows the existing link between the Quality Management tools, Productive Sustainability and Cost Reduction that justify its adoption.

Keywords: Sustainability – Quality Management – SME (Small and Medium Enterprises) – Productivity – Costs Reduction.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Abordaje a la Temática de la Sustentabilidad

La sustentabilidad se ha convertido en un tema crucial en el contexto contemporáneo debido a la creciente conciencia sobre los efectos adversos de las actividades humanas en el medio ambiente y la necesidad de preservar los recursos naturales para las generaciones futuras. Este concepto abarca un enfoque integral que incluye la gestión económica, ambiental y social para garantizar un desarrollo sostenible a largo plazo. Según la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas, el Desarrollo Sostenible es "*aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades*".

En el ámbito empresarial, la sustentabilidad implica la adopción de prácticas que no solo sean económicamente viables, sino también social y ambientalmente responsables. Las empresas, especialmente las pequeñas y medianas (PyMEs), juegan un papel fundamental en la transición hacia modelos de negocio más sostenibles. La implementación de herramientas de Gestión de la Calidad en estos entornos puede ser un medio efectivo para reducir el consumo de recursos, disminuir costos y aumentar el valor percibido por los clientes, generando beneficios tanto para la empresa como para los consumidores.

1.2. Contexto y Motivación de la Investigación

En un mundo empresarial donde la gestión de la calidad se ha consolidado como un pilar esencial para el éxito y la supervivencia de las organizaciones, la sustentabilidad ha adquirido una importancia crucial. La investigación busca explorar cómo la integración de prácticas sustentables puede mejorar la eficiencia operativa y la calidad del producto en el Sector PyME.

La adopción de prácticas sustentables no solo reduce el consumo de recursos naturales y la generación de residuos, sino que también fortalece la reputación y la imagen de marca de una organización. La creación de valor compartido permite a las empresas fortalecer su posición en el mercado al abordar problemas sociales y medioambientales de manera integral.

Se observa que en el sector PyME ha sido tradicional un aferramiento a realizar las actividades y operaciones de acuerdo con usos y costumbres, con una creencia que todo lo que se hizo antes y dio buenos resultados, seguirá brindando similares provechos en el futuro. La realidad indica que el análisis de eficiencia de ese accionar resulta de dudosa calificación.

El sector PyME presenta desafíos particulares debido a su estructura organizativa, recursos limitados y la necesidad de adaptarse rápidamente a las demandas del mercado. Sin embargo, estas características también ofrecen una oportunidad única para implementar mejoras innovadoras que pueden ser más difíciles de realizar en organizaciones más grandes y burocráticas. La flexibilidad y la capacidad de adaptación de las PyMEs pueden ser aprovechadas para integrar prácticas de gestión de calidad y sustentabilidad de manera más ágil y efectiva (Mahmood, 2023).

1.3. Objetivo de la Investigación

El objetivo de la presente investigación es analizar el impacto de la implementación de herramientas de Gestión de la Calidad en las PyMEs, con el fin de reducir costos y promover la sustentabilidad. Se buscará demostrar que la producción sustentable no es sólo una opción ética, sino una estrategia inteligente para asegurar la competitividad y el éxito a largo plazo.

El concepto de sustentabilidad se funda en la denominada triple línea de resultado, que abarca el rendimiento Económico, el desarrollo Social y el cuidado Ambiental como impactos a lograr por parte del sector empresa. Este enfoque se ha convertido en un marco clave para evaluar la sustentabilidad empresarial y es fundamental en la orientación del presente estudio. La idea subyacente es que las empresas que se centran únicamente en los beneficios financieros a corto plazo pueden comprometer su capacidad para sostener el éxito a largo plazo, si no abordan también sus impactos sociales y ambientales.

1.4. Marco Teórico

La investigación parte de un sólido marco teórico que incluye la evolución histórica de la Gestión de la Calidad, desde sus raíces en la Revolución Industrial hasta las sofisticadas metodologías contemporáneas como el Control Estadístico de Procesos (SPC), la Gestión de Calidad Total (TQM), y Six Sigma (SS). Estas metodologías han sido fundamentales para la mejora continua y la reducción de la variabilidad en los procesos de producción, lo que resulta en productos de mayor calidad y en una mayor satisfacción del cliente (Montgomery, 2019).

Además, se exploró la evolución del concepto de sustentabilidad, destacando hitos como la publicación de "Primavera Silenciosa" de Rachel Carson y el informe "Nuestro Futuro Común" de la Comisión Brundtland -1987-. Estos documentos subrayaron la necesidad de un desarrollo que debe satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para acceder a sus propias necesidades.

En el contexto de la Gestión de Calidad, se consideraron las contribuciones de pioneros como William Edwards Deming, quien promovió la idea de que la calidad debe ser construida en los procesos desde el principio, y Joseph Moses Juran, quien introdujo el concepto de "aptitud para el uso" como una medida de calidad. La obra de Kaoru Ishikawa también fue relevante, particularmente su desarrollo de herramientas como el diagrama de causa y efecto, que permite a las organizaciones identificar y abordar las causas raíz de los problemas de calidad.

2. DESARROLLO

2.1. Hipótesis Adoptadas

Hipótesis 1: La implementación de herramientas de Gestión de Calidad Ambiental reduce significativamente el impacto ambiental en las PyMEs.
Según guía sobre cómo las herramientas de gestión de calidad ambiental ayudan a reducir el impacto ambiental (Fiksel, 2014), y que la Gestión Total de la Calidad (TQM) combinada con iniciativas de sostenibilidad mejoran significativamente el desempeño empresarial (Fernández, 2021).

Hipótesis 2: Las PyMEs que adoptan prácticas de producción más sustentables experimentan una reducción en los costos operativos a largo plazo.
Dado que la innovación verde y la producción limpia impactan sobre los costos operativos (Guerrero, 2022), y que la relación existente entre prácticas sostenibles y costos operativos en la manufactura mantienen potencialidad positiva para experimentar mayor eficiencia en el uso de recursos y mejoras en la productividad (Yadav, 2017).

Hipótesis 3: La capacitación en técnicas de producción sostenible mejora la eficiencia operativa y reduce el desperdicio producido por las PyMEs.
Dado que la capacitación en gestión ambiental mejora la eficiencia operativa (Paniagua, 2019), y la demostración del impacto positivo sobre la sustentabilidad que ejerce la capacitación en la gestión de residuos (Martínez-Conesa, 2020).

Hipótesis 4: Las PyMEs que implementan estrategias de sostenibilidad en sus procesos de producción obtienen una mayor satisfacción del cliente.
Según análisis de cómo la sostenibilidad ambiental afecta la satisfacción y lealtad del cliente (Martinho, 2020) y dado los estudios que muestran cómo la relación entre prácticas sostenibles potencian la satisfacción del cliente, en por ejemplo el sector de la moda (Liu Y. &., 2019)

2.2. Instrumentación Metodológica

En primer lugar, se realizó un profundo análisis de la literatura existente sobre Gestión de la Calidad y Sustentabilidad en el ámbito PyME, luego se consideró una aplicación de Caso Real sobre una Industria Alimenticia del rubro de Panificados, con el ánimo de obtener conclusiones extensivas a otros rubros y actividades productivas. Este análisis permitió identificar las mejores prácticas y las herramientas más efectivas para la mejora de la calidad y la reducción de costos. Luego, se seleccionaron y adaptaron siete herramientas de calidad para su aplicación al caso en Estudio, con enfoque en la sostenibilidad, según siguiente detalle:

- **Diagrama de causa y efecto (diagrama de Ishikawa):** Esta herramienta se utilizó para identificar las causas raíz de los problemas de calidad en la producción. Al mapear los factores que pueden contribuir a la variabilidad en el proceso de producción, se pudo implementar cambios específicos para mejorar la consistencia y la calidad del producto.
- **Hoja de control:** Se empleó para recopilar datos sobre el desempeño del proceso de producción en diferentes etapas. Esta herramienta facilitó la identificación de patrones y tendencias, permitiendo hacer ajustes informados y basados en datos concretos.
- **Gráfica de control:** Utilizado para monitorear la estabilidad del proceso de producción a lo largo del tiempo. Los gráficos de control permitieron detectar variaciones inusuales y tomar medidas correctivas antes de que los problemas afectaran significativamente la calidad del producto.
- **Histograma:** Esta herramienta ayudó a visualizar la distribución de los resultados del proceso de producción, identificando cualquier desviación significativa de los estándares establecidos. El análisis de histogramas permitió comprender mejor las variaciones en el proceso y ajustar las

operaciones para mejorar la consistencia de sus resultados.

- **Diagrama de Pareto**: Se utilizó para identificar y priorizar los problemas de calidad más significativos. Al centrarse en las causas principales de los derroches y desperdicios en la elaboración del producto, permitió implementar soluciones más efectivas y eficientes.
- **Diagrama de dispersión**: Esta herramienta se empleó para analizar la relación entre diferentes variables del proceso de producción. Al identificar correlaciones significativas, se pudo ajustar sus operaciones para minimizar los factores que contribuyen a la variabilidad y mejorar la calidad del producto.
- **Estratificación (diagrama de flujo)**: Utilizada para descomponer y analizar diferentes etapas del proceso de producción. La estratificación permitió identificar áreas específicas que presentan oportunidades de mejoras, tanto para reducir el desperdicio, como para aumentar la eficiencia.

2.3. Herramientas de Gestión de la Calidad vs. Principios de Sustentabilidad

En la Tabla 1 se aprecia la correlación entre las herramientas de calidad descriptas y su impacto en la sostenibilidad de la actividad con su ejemplificación de aplicación**.**

Tabla 1 Correlación entre Herramientas de Calidad y los Principios de Sustentabilidad

Herramientas de Calidad	Aplicación Tradicional	Enfoque de Sostenibilidad	Ejemplo de Aplicación
Diagrama de Causa y Efecto	Identificación de causas raíz de problemas	Identificación y análisis profundo de las causas raíz de impactos ambientales, sociales y económicos.	Determinar las causas subyacentes del alto consumo de energía y emisiones de CO2 en un proceso de fabricación, considerando también los impactos sociales.
Hoja de Verificación	Recolección y análisis de datos	Recolección estructurada de datos sobre el uso de recursos, generación de residuos y huella de carbono.	Controlar y categorizar la cantidad diaria de materiales reciclables y residuos peligrosos generados en una planta de manufactura
Diagrama de Pareto	Identificación de las causas más relevantes de un problema	Priorización de acciones correctivas en áreas con mayor impacto ambiental, social y económico	Identificar y priorizar las principales fuentes de emisión de CO2 en un proceso de producción enfocado en reducir lo más significativo
Diagrama de Flujo	Visualización de resultados en las distintas etapas de un proceso	Visualización de flujos de recursos energía y materiales dentro de un proceso destacando ineficiencias y oportunidades de mejora	Diseñar un proceso de producción optimizado para minimizar el uso de agua y energía mientras se maximiza la reutilización de materiales y se reduce el desperdicio
Histograma	Medición de la distribución de resultados y de la variabilidad de un proceso	Análisis de la variabilidad en el uso de recursos consumo energía y patrones de sostenibilidad	Evaluar la distribución del consumo de energía entre diferentes turnos de trabajo y ajustar el proceso para reducir picos de consumo innecesarios
Diagrama de Dispersión	Relación entre variables	Identificación de relaciones y correlaciones entre variables de sostenibilidad como la producción y el impacto ambiental	Analizar la relación entre el consumo de energía y la cantidad de productos defectuosos para implementar medidas que mejoran la eficiencia energética y reduzcan desperdicios
Gráfica de Control	Monitoreo de la estabilidad de un proceso	Monitoreo continuo e indicadores clave de sostenibilidad como emisiones de gases de efecto invernadero consumo de recursos y residuos.	Establecer un sistema de control en tiempo real para monitorear y mantener las emisiones de gases de efecto invernadero dentro de los límites normativos durante la producción

2.4. Calidad y Sustentabilidad – Síntesis de Resultados de Casos Aplicativos en Empresas

Si citan a continuación una serie de casos aplicativos de herramientas de Gestión de la Calidad en distintas empresas, cuyos resultados, además de obtener logros en los aspectos de la Mejora Continua de los Procesos, han conseguido avances significativos en cuanto a la aproximación a la Producción Sustentable:

Caso Toyota:

- Metodología Adoptada: Toyota sigue con su reconocido **Sistema de Producción Toyota (TPS)**, que integra **Lean Manufacturing** y **Just-In-Time** para eliminar desperdicios y mejorar continuamente. Además, Toyota ha enfocado su sostenibilidad con iniciativas como el desarrollo de vehículos eléctricos y tecnologías híbridas. El **Toyota Environmental Challenge 2050** es un programa para reducir su impacto ambiental en áreas clave como la reducción de emisiones de CO2, el uso eficiente del agua y la creación de productos más ecológicos.
- Reducción de Costos: Utiliza herramientas como **Kaizen** (mejora continua) y **5S** (Sort, Set in order,

Shine, Standardize, Sustain) para optimizar procesos, reducir desperdicios y mejorar la eficiencia.

Caso IBM:

- Metodología Adoptada: IBM ha fortalecido su enfoque en **ISO 9001** y **Six Sigma** para garantizar la calidad en sus productos y servicios. La implementación de **Six Sigma** ayuda a reducir defectos y variabilidad en los procesos, mientras que la gestión de riesgos y la mejora continua son parte integral de sus operaciones.
- Sostenibilidad: IBM está comprometida con la sostenibilidad empresarial, trabajando para reducir su huella de carbono y aumentar el uso de energías renovables. La compañía utiliza tecnologías innovadoras para promover la **eficiencia energética** y la **sostenibilidad en sus operaciones**.
- Reducción de Costos: Aprovechan **Six Sigma** para optimizar procesos, lo que contribuye a la reducción de costos operativos y mejora la eficiencia en el uso de recursos.

Caso Coca-Cola:

- Metodología Adoptada: Coca-Cola utiliza **ISO 22000** para asegurar la seguridad alimentaria y la calidad de sus productos. Han implementado el **Sistema de Gestión Ambiental (SGA)** para reducir su impacto ambiental, con énfasis en la sostenibilidad en toda su cadena de suministro.
- Sostenibilidad: La compañía se enfoca en la **sostenibilidad del agua**, la **reducción de emisiones de carbono** y el **reciclaje de envases**. Han establecido metas ambiciosas para mejorar la eficiencia en el uso del agua y reducir el desperdicio a través de programas de reciclaje y reducción de residuos.
- Reducción de Costos: La mejora continua en los procesos de producción y distribución, junto con una gestión eficiente de recursos, ayuda a reducir costos y mejorar la sostenibilidad general.

Caso Samsung:

- Metodología Adoptada: Samsung implementa **ISO 9001** y **Six Sigma** para mejorar la calidad y eficiencia de sus procesos. La compañía se centra en la **innovación tecnológica** y la **sostenibilidad** en la fabricación de productos electrónicos.
- Sostenibilidad: Samsung ha establecido objetivos para reducir el impacto ambiental de sus productos y operaciones, incluyendo la **reducción de residuos electrónicos** y la **mejora en la eficiencia energética** de sus fábricas.
- Reducción de Costos: Utilizan **Six Sigma** y prácticas de mejora continua para optimizar procesos, reducir desperdicios y costos asociados con la producción y operación.

Caso Ford:

- Metodología Adoptada: Ford aplica **ISO 9001** y **Lean Manufacturing**, junto con **Six Sigma**, para mejorar la calidad y eficiencia en sus procesos. Han integrado prácticas de mejora continua en su cadena de suministro y producción.
- Sostenibilidad: Ford está comprometida con la **sostenibilidad automotriz**, incluyendo el desarrollo de **vehículos eléctricos** y la reducción de emisiones en sus procesos de manufactura.
- Reducción de Costos: La combinación de **Lean** y **Six Sigma** permite a Ford optimizar procesos, reducir desperdicios y costos operativos, contribuyendo a la eficiencia y sostenibilidad.

Caso Quilmes:

- Metodología Adoptada: Quilmes, parte del grupo AB InBev, sigue prácticas de calidad enfocadas en la **gestión de la cadena de suministro**, la **calidad del producto** y la **sostenibilidad**. Utilizan herramientas de **Lean Manufacturing** y **mejora continua** para optimizar sus operaciones.
- Sostenibilidad: Quilmes ha desarrollado iniciativas para **reducir su huella de carbono**, **ahorrar agua** en la producción y mejorar la **gestión de residuos**. Están comprometidos con prácticas de **sostenibilidad ambiental** y **responsabilidad social**.
- Reducción de Costos: La implementación de **Lean** y la mejora continua en la eficiencia de los procesos de producción ayudan a reducir costos y mejorar la sostenibilidad en sus operaciones.

Asimismo, se menciona que las PyMEs que han implementado herramientas Lean, como el Mapeo de la Cadena de Valor (VSM) y 5S, han logrado una mejora del 15% en la eficiencia operativa y una reducción del 12% en el inventario en proceso (Singh, 2017). Este enfoque ha sido fundamental para pequeñas empresas que buscan mantenerse competitivas en mercados globales.

Se destaca, que el empleo de la herramienta Análisis de Modos de Fallas y Efectos (FMEA) en PyMEs ha mostrado una reducción significativa en los defectos del producto, estimado en un 25%, y una mejora en la satisfacción del cliente del 18% (Kumar, 2018). Este enfoque proactivo para la identificación de riesgos y fallos ha sido clave en industrias donde la calidad del producto es crítica.

2.5. Concepto de Sustentabilidad en el Sector Empresarial

La sustentabilidad en el contexto empresarial se refiere a la integración de prácticas que buscan

equilibrar el crecimiento económico con la responsabilidad ambiental y el bienestar social. Esto implica un enfoque holístico que abarca desde la gestión eficiente de los recursos naturales hasta la creación de valor compartido con todas las partes interesadas. Las empresas que adoptan este enfoque no solo buscan reducir su impacto ambiental, sino también mejorar su desempeño financiero y su reputación corporativa (Elkington, 2012).

La sustentabilidad se ha convertido en un pilar esencial para las empresas que buscan no solo sobrevivir sino prosperar en un entorno cada vez más competitivo y regulado. Las prácticas sustentables permiten a las empresas diferenciarse en el mercado, cumplir con las expectativas de los consumidores y reducir riesgos asociados con el cumplimiento normativo y la gestión de recursos. En este contexto, las PyMEs, debido a su flexibilidad y capacidad de innovación, tienen una oportunidad única para liderar el cambio hacia modelos de negocio más sostenibles.

2.6. Importancia de las PyMEs en la Sustentabilidad

El sector PyME es un actor clave en la economía global debido a su capacidad para generar empleo y promover el desarrollo local. Sin embargo, estas empresas a menudo enfrentan desafíos significativos en términos de recursos y capacidad para implementar prácticas sostenibles. A pesar de estas limitaciones, las PyMEs tienen un potencial considerable para innovar y adoptar estrategias de sostenibilidad que pueden ser más flexibles y adaptables que las de las grandes corporaciones (Nidumolu, 2009).

Se aprecia en este sector que, al tener estructuras más ágiles y menos burocráticas, pueden implementar cambios más rápidamente y adaptar sus estrategias a las necesidades emergentes del mercado. Este dinamismo permite a las PyMEs no solo adoptar prácticas sustentables con mayor rapidez sino también experimentar con nuevas tecnologías y procesos que puedan mejorar su eficiencia operativa y reducir su impacto ambiental. En este sentido, la colaboración entre PyMEs y grandes empresas, así como con instituciones académicas y organizaciones no gubernamentales, puede potenciar la adopción de prácticas sustentables y generar un impacto más significativo en la comunidad y el entorno.

2.7. Herramientas de Gestión de Calidad para Aproximación a la Sustentabilidad

Herramientas de Gestión de Calidad, como las metodologías Lean, Six Sigma, Ciclo de Mejora Continua (PDCA) ó Control Estadístico de Procesos (SPC), ofrecen enfoques sistémicos para optimizar procesos, reducir desperdicios y mejorar la eficiencia operativa. Estas herramientas no solo contribuyen a la calidad del producto y la satisfacción del cliente, sino que también pueden desempeñar un papel crucial en la reducción del consumo de recursos y la minimización del impacto ambiental. A continuación se presenta una breve descripción de estas cuatro herramientas metodológicas.

2.7.1. Metodología Lean

La metodología Lean se centra en la eliminación de desperdicios y la mejora continua de los procesos productivos. Su aplicación puede conducir a una reducción significativa del uso de recursos, como energía, agua y materias primas, al identificar y eliminar actividades que no aportan valor. Por ejemplo, la implementación de técnicas Lean en una panificadora puede incluir la optimización de los procesos de horneado para minimizar el consumo de energía y reducir el desperdicio de ingredientes.

La versión Lean Thinking, promueve la eficiencia operativa, mediante la identificación y eliminación de desperdicios en los procesos de producción, al enfocarse en la creación de valor para el cliente y la mejora continua. Lean no sólo ayuda a las empresas a reducir costos, mejorar la calidad del producto y aumentar la satisfacción del cliente, sino que además permite llevar adelante procesos de producción más eficientes, reducción de tiempos de ciclo y optimización del uso de materias primas y de la energía, lo cual se alinea con los objetivos de sustentabilidad perseguidos.

2.7.2. Metodología Six Sigma

Metodología basada en herramientas estadísticas, que busca mejorar el desempeño de los procesos y la calidad del producto, eliminando la variabilidad de los resultados. En una PyME puede ayudar a identificar variaciones en la producción que generan desperdicios, mejorando así la calidad y la sustentabilidad.

Con el enfoque DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), popularizado por empresas como GE y Motorola, se consigue una acción enfocada en cada problema y su solución para el logro de la Mejora Continua del desempeño. La aplicación de Six Sigma tiende a optimizar cada parte de los procesos, consiguiendo salidas estables y consistentes que reducen o eliminan defectos o fallos.

2.7.3. Metodología Ciclo de Mejora Continua (PDCA)

El Ciclo de Mejora Continua, también conocido como el ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act), es una herramienta fundamental para la gestión de calidad que promueve la mejora constante de los procesos. Este enfoque iterativo permite a las empresas planificar cambios, implementarlos, verificar su efectividad y actuar en consecuencia para realizar ajustes necesarios.

La aplicación del ciclo PDCA en una PyME puede facilitar la adopción de prácticas sostenibles, como la reducción del consumo de agua mediante la implementación de sistemas de recirculación o la optimización del uso de materiales mediante el reciclaje y la reutilización. Esta metodología ha demostrado ser particularmente efectiva en PyMEs, logrando una reducción del 15% en tiempos de ciclo y una mejora del 12% en la calidad del producto (Liu, 2018).

2.7.4. Control Estadístico de Procesos (SPC)

El SPC es una metodología que usa técnicas estadísticas para monitorizar y controlar la producción, garantizando eficiencia y productos de alta calidad de manera consistente. En un contexto de producción sostenible, el SPC optimiza el uso de recursos y minimiza desperdicios, promoviendo prácticas que reducen el impacto ambiental y los costos operativos. La implementación de SPC en pequeñas empresas manufactureras permitió la identificación temprana de variaciones que causaban ineficiencias, derroches y residuos, mejorando la sostenibilidad general del negocio (Peters, 2015).

2.8. Modelo de Aproximación a la Sustentabilidad en el Ámbito PyME

2.8.1. Abordaje Conceptual

La Gestión de la Calidad y la Sustentabilidad están interrelacionadas y pueden reforzarse mutuamente. Integrar ambos conceptos puede llevar a una organización a ser más competitiva, eficiente y responsable con el medio ambiente. Mientras la Gestión de la Calidad se centra en la mejora continua de procesos y productos para satisfacer las necesidades del cliente, al mismo tiempo puede alinearse con los objetivos de Sustentabilidad, como la reducción de residuos, el uso eficiente de recursos y la minimización del impacto ambiental.

La implementación de Sistemas de Gestión de la Calidad (SGC) bajo normas, a menudo lleva a una mayor eficiencia operativa. Esta eficiencia puede contribuir a la sustentabilidad al reducir el consumo de energía y recursos, disminuyendo el impacto ambiental de las operaciones. Además, empresas maduras que han integrado prácticas de sustentabilidad han visto un aumento del 5-10% en la valoración de sus acciones (Eccles, 2014)

El Modelo propuesto para la aproximación a la Sustentabilidad PyME, mediante el empleo de herramientas tradicionales de Gestión de la Calidad, se basará en la combinación de las cuatro metodologías ó herramientas de calidad descriptas en el apartado anterior. Este enfoque integrado buscará, además de controlar los resultados de los procesos (calidad de los productos), maximizar la eficiencia operativa, reducir el consumo de recursos y mejorar la sustentabilidad de la empresa.

2.8.2. Diagnóstico y Planificación

El primer paso en la implementación del Modelo es realizar un diagnóstico exhaustivo de los procesos actuales de la empresa. Esto incluye la identificación de áreas críticas donde se producen desperdicios, derroches y/o consumos innecesarios de recursos.

A partir de este diagnóstico, se puede desarrollar un Plan detallado que establezca objetivos claros y metas de sustentabilidad. Un diagnóstico exhaustivo de la situación permite a la empresa identificar puntos críticos débiles en los procesos de producción donde se generan desperdicios o se consumen recursos de manera ineficiente. Esta etapa es crucial para establecer una Línea Base a partir de la cual se pueden definir objetivos claros y alcanzables y medir los progresos resultantes.

2.8.3. Implementación de Mejoras

Una vez que se ha establecido el Plan, se procede a la implementación de mejoras utilizando las herramientas Lean y Six Sigma. Esto puede incluir la reorganización del layout de la planta para mejorar el flujo de trabajo, la optimización de los procesos de producción para reducir el tiempo de ciclo y el uso de técnicas estadísticas para controlar la variabilidad en el comportamiento de los procesos y en la calidad del producto.

La implementación de mejoras se centra en la aplicación práctica de las herramientas y metodologías seleccionadas. Esto puede incluir cambios en el diseño del proceso, la capacitación de los empleados y la adopción de nuevas tecnologías o prácticas de gestión. Por ejemplo, en una panificadora, la

implementación de técnicas Lean podría implicar la reorganización del espacio de trabajo para mejorar la eficiencia del flujo de materiales y reducir el tiempo de producción. La aplicación de Six Sigma podría enfocarse en la identificación y eliminación de variabilidades en el proceso de horneado para asegurar una calidad consistente del producto y lograr, asimismo, un uso eficiente del recurso energético.

2.8.4. Verificación y Ajuste

El siguiente paso es la verificación de los resultados mediante el uso del ciclo PDCA. Esto implica medir y analizar los resultados de las mejoras implementadas, compararlos con los objetivos establecidos y realizar los ajustes necesarios para asegurar la efectividad continua del modelo.

La verificación de los resultados es una etapa crítica para asegurar que las mejoras implementadas están generando los beneficios esperados. Utilizando el ciclo PDCA, la empresa puede realizar un seguimiento continuo de los Indicadores Clave de Desempeño (KPI) y hacer los ajustes necesarios para optimizar los procesos. En una panificadora, esto podría implicar el monitoreo constante de la calidad del producto y/o de la tasa de derroche de recursos productivos en ppm (parte por millón), y así, luego proceder al ajuste de parámetros de producción para mantener altos estándares de calidad y eficiencia perseguidos.

2.8.5. Evaluación y Retroalimentación

Finalmente, se debe realizar una evaluación continua de los procesos y una retroalimentación constante para identificar nuevas oportunidades de mejora. Esta etapa es crucial para mantener el enfoque en la mejora continua y asegurar que la empresa se mantenga en el camino hacia la sustentabilidad a largo plazo.

La evaluación continua y la retroalimentación permiten a la empresa mantenerse actualizada con las mejores prácticas y adaptarse a los cambios en el entorno empresarial y regulatorio. Esta etapa incluye la revisión periódica de los procesos, la actualización de objetivos y la implementación de nuevas mejoras basadas en el aprendizaje continuo.

En una Industria Panificadora, que se tomara como Estudio de Caso, esto podría implicar la revisión regular de los procesos de producción, la implementación de nuevas tecnologías más eficientes y sostenibles, y la actualización de las prácticas de gestión de calidad para mantenerse competitivos y alineados con los objetivos de sustentabilidad.

2.9. Estudio de Campo – Análisis de Caso Industria Panificadora “ECO-Miga”

2.9.1. Presentación y Planteo de Caso

Contexto: La Panificadora PyME “ECO-Miga” (nombre de fantasía) estaba enfrentando altos costos de producción y un alto nivel de desperdicio, lo que impactaba no solo en la calidad del producto sino también en la sustentabilidad de la actividad.

Objetivo: Implementar herramientas de Gestión de la Calidad para reducir el desperdicio y mejorar la eficiencia del uso de recursos, promoviendo así la sustentabilidad.

Metodología: Para identificar y analizar las principales causas de desperdicio, se propuso la utilización de diversas herramientas de Gestión de la Calidad, como Diagrama de Pareto, Diagrama de Ishikawa, Hojas de Verificación y Gráficas de Control. Se verificará si la aplicación de estas herramientas puede ayudar a reducir el desperdicio de materias primas e insumos, además de optimizar los procesos de producción, minimizar el consumo de energía y de recursos naturales.

2.9.2. Implementación del Modelo

Se hará una descripción sintética de la aplicación metodológica de herramientas para descubrir las causas que generan ineficiencias, medirlas, priorizarlas y encarar su mejora atendiendo a lograr mayor eficiencia en el desempeño de la Calidad y la Sustentabilidad de los procesos:

2.9.2.1. Primer Paso - Recolección de Datos para la Hoja de Verificación

Para iniciar el proceso de recolección de información, dimensionar errores y determinar áreas de mejora, se utilizó la **Hoja de Verificación.** Se Recolectaron datos de distintos tipos de desperdicio durante 10 días. Las categorías de desperdicio incluidas han sido: Masa sobrante, productos defectuosos, y derroche de ó mal uso de recursos (agua y energía eléctrica), ver detalle en Tabla 2.

Tabla 2 Hoja de Verificación -Cuantificación de Derroches / Desperdicios-

Día	Masa Sobrante	Derroche de Energía	Derroche de Agua de Red	Prod. Defectuosos

	1000 $/Kg		70 $/KWh		10 $/Lts		55 $/Unid	
	Kg	$	KWh	$	Lts	$	Unid	$
1	1,500	1.500	26,2	1.834	54	540	8	400
2	1,505	1.505	22,1	1.547	53	530	8	400
3	2,400	2.400	17,5	1.225	48	480	7	350
4	1,504	1.504	18,9	1.323	51	510	10	500
5	1.506	1.506	18,4	1.288	39	390	9	450
6	2,405	2.405	18,9	1.323	63	630	8	400
7	1,501	1.501	24,7	1.729	46	460	3	150
8	1,507	1.507	18,6	1.302	45	450	9	450
9	2,415	2.415	25,6	1.792	40	400	6	300
10	1,502	1.502	24,1	1.687	35	350	10	500
	17,745	**$ 17.745**	**215**	**$ 15,050**	474	**$ 4.740**	78	**$ 3.900**

2.9.2.2. Segundo Paso – Verificación de Causas Vitales con el Diagrama de Pareto

Para identificar las causas de desperdicio vitales, las mismas han sido despejadas del resto de causas poco trascendentes, utilizando la regla que especifica que el 80% de las consecuencias son generadas por el 20% de las causas, empleándose para ello el **Diagrama de Pareto.** Con los datos recolectados se elaboró un diagrama de frecuencias de causas y sus impactos, de modo de apreciar cuáles son las principales fuentes de derroches / desperdicios, ver detalle en Figura 1.

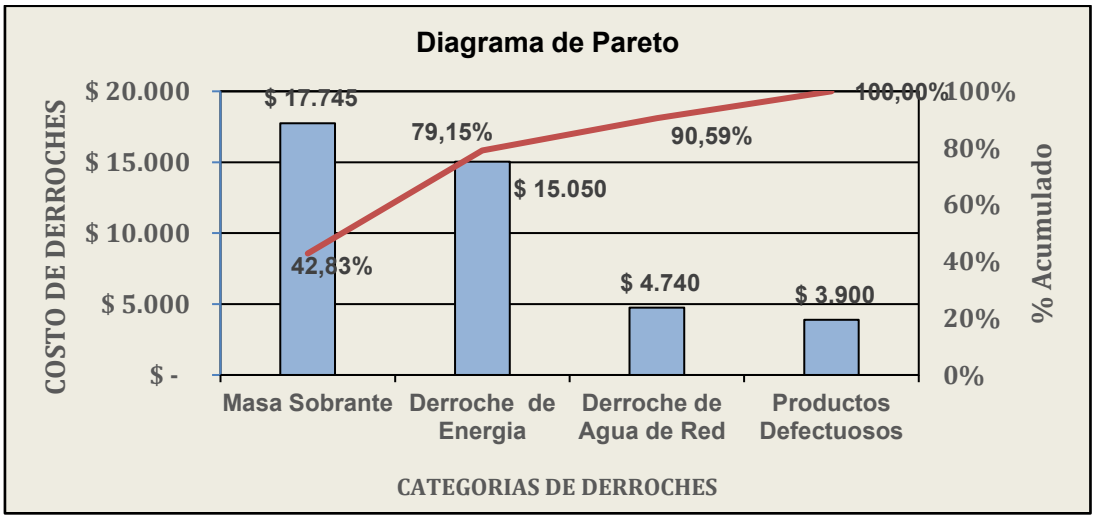


Figura 1 Diagrama de Pareto – Visualización de la Causas Vitales de los Desperdicios

De la Interpretación del Gráfico surge que Masa Sobrante es la principal fuente de desperdicio, seguido por el Mal Uso de Energía. Juntos, estos dos tipos de desperdicios representan la mayor parte del problema (casi 80%), lo que sugiere que, al enfocarse en la reducción de la masa sobrante y en el mejor empleo de la energía, disminuyendo su consumo a valores estandarizados, se podría lograr un impacto significativo en el desempeño de los procesos y en la sustentabilidad del negocio.

2.9.2.3. Tercer Paso: Identificación de Causas Raíz Diagrama de Ishikawa (Causa-Efecto)

Para analizar las causas raíz del desperdicio y las ineficiencias en el proceso productivo se utilizó el **Diagrama de Ishikawa (Causa-Efecto)**. Con base en los resultados del Diagrama de Pareto que expone las causas vitales que deben ser atacadas, se construye un Diagrama de Ishikawa para identificar las posibles causas originales del desperdicio más relevante, ver detalle en Figura 2 (Causas de Masa Sobrante).

Para este caso, se han considerado las siguientes categorías de causas:

- Materiales: Calidad de los ingredientes, almacenamiento inadecuado, proveedores.
- Métodos: Errores en las recetas, procedimientos de mezclado incorrectos.
- Maquinaria: Fallos en las máquinas de amasado o corte.
- Mano de obra: Falta de capacitación, errores humanos.
- Medio ambiente: Temperatura y Alta humedad en la panificadora.

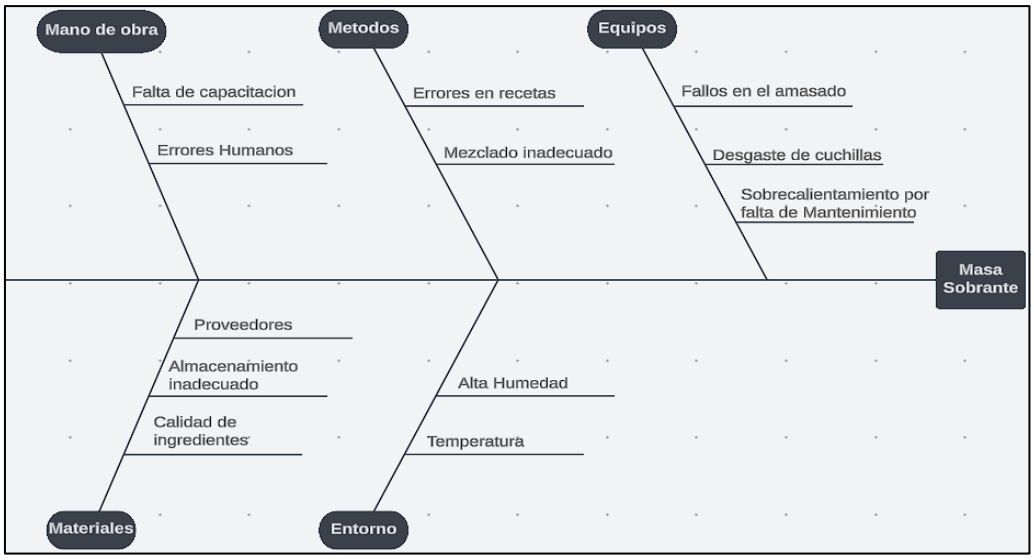


Figura 2 Diagrama de Ishikawa Causas de Masa Sobrante

2.9.2.4. Cuarto Paso - Gráfico de Control

Para monitorear el desempeño y la variabilidad en los distintos procesos de producción se utilizó la técnica de **Gráfico de Control**. Primero se tomaron los datos de las salidas del proceso a lo largo del periodo de estudio para identificar variabilidades, los resultados han sido volcados en la Tabla 3 (Gráfica de Control), cuya representación se aprecia en la Figura 3 (Irregularidades en el Proceso).

Tabla 3 Planilla de Cálculo para el Armado de la Gráfica de Control

Días	Producción Diaria Amasado Kg	Masa Sobrante Diaria Kg.	Tasa de Derroche Diaria ppm
I	4.000	1,500	375
2	4.002	1,505	376
3	3.999	2,400	600
4	4.003	1,504	375
5	4.000	1,506	376
6	3.997	2,405	601
7	4.001	1,501	375
8	4.002	1,507	376
9	3.998	2,415	604
10	4.002	1,502	375
Promedio Diario	**Kg 4.000,4**	**Kg 1.775**	**ppm 444**

Como se puede apreciar la Tasa de Derroche presenta irregularidades significativas cada 3 días, casi se encuentra duplicada los días 3, 6 y 9. Ello significa que el Proceso de Mejora a implementar debe en primer lugar abordar estas distorsiones y plantear sus correcciones.

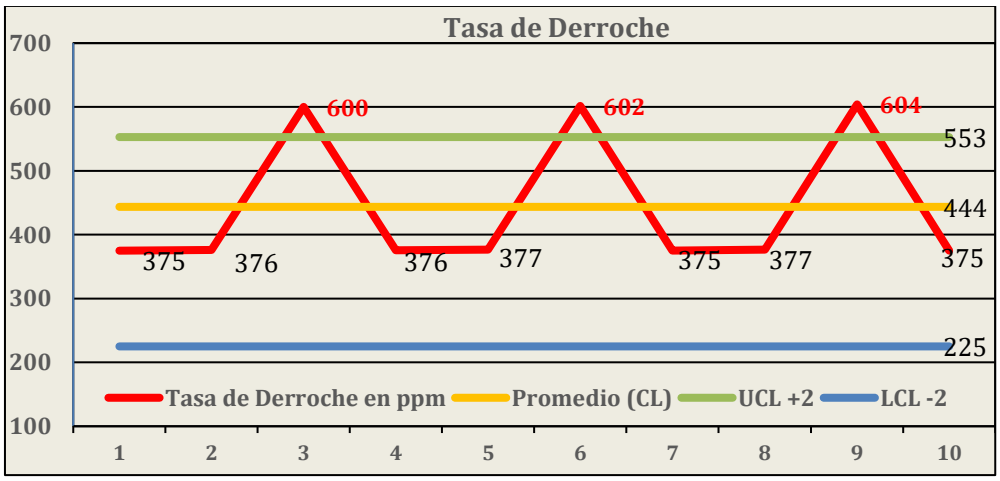


Figura 3 Control de Irregularidades en el Proceso

A partir de los datos recolectados en la Tabla 3, se construyó la Gráfica de Control correspondiente, resultando graficados los Limites de Proceso resultantes, como lo son: la Línea Central ó Promedio (CL), y los Límites Superior de Control (UCL) e Inferior de Control (LCL) que han sido establecidos en ± 2. Aquí en forma simple se observan los resultados que han quedado superando estos límites, brindando precisiones sobre dónde actuar prioritariamente para disminuir esos efectos no deseados que generan mayores costos e ineficiencias en el uso de los recursos productivos.

2.9.3. Implementación de Mejoras en Industria Panificadora "ECO-Miga"

En la búsqueda de una panificación más eficiente y sostenible, la aplicación de mejoras en el proceso productivo resulta esencial. Mediante la implementación de herramientas de gestión de calidad, es posible optimizar recursos, reducir desperdicios y disminuir costos, todo ello contribuyendo a una producción más sustentable. Este enfoque no solo garantiza productos de mayor calidad, sino que también promueve prácticas empresariales responsables y competitivas en el mercado actual.

En función de los estudios y relevamientos realizados, se elaboró un Plan de Mejoras que incluyó:

- Verificación de Calidad en Materias Primas: Reducción del desperdicio en la etapa de recepción y almacenamiento en un 2%.
- Organización Sistema FIFO en Almacenes: Reducción del derroche de ingredientes en un 1.5%.
- Estandarización de Recetas y Procedimientos: Reducción de la variabilidad y de errores en la preparación de la masa, disminuyendo el desperdicio en un 3%.
- Ajuste de Máquinas y Herramientas: Optimización y estandarización del uso de maquinaria que generó una reducción del desperdicio de masa en un 2%.
- Control de Temperatura y Humedad: Mejora de la eficiencia energética y reducción de productos defectuosos en un 1,5%.
- Ajuste de Moldes y Cuchillas: Reducción del desperdicio en el corte de la masa en un 2%.
- Optimización de Tiempos y Temperaturas de Cocción: Mejora del rendimiento energético, reduciendo su consumo en un 10%.
- Implementación de Controles de Calidad en el Empaque: Disminución del retrabajo y el desperdicio en un 1,5%.
- Optimización de Rutas de Distribución: Reducción del consumo de combustible y de las emisiones de CO_2 en un 10%.

2.9.4. Conclusión Estudio de Caso Industria Panificadora "ECO-Miga"

- Económico: Las acciones implementadas redujeron significativamente el desperdicio y los costos de producción, proporcionando un ahorro anual estimado de U$S 17.500-. Este ahorro puede reinvertirse en nuevas tecnologías, en capacitación, o en aumentar las ganancias de la empresa.
- Sustentabilidad: La reducción en el desperdicio de masa sobrante y en el consumo energético ha tenido un impacto directo en la disminución de las emisiones de CO_2 y el uso de recursos naturales como el agua. Estas mejoras no solo benefician económicamente, sino que también contribuyen a una operación más sustentable y responsable con el medio ambiente.
- Competitividad: Con una reducción en costos y un enfoque en la sustentabilidad, la panificadora puede posicionarse como una empresa competitiva y comprometida con el medio ambiente, lo que puede atraer a más clientes y fortalecer su reputación en el mercado.

3. CONCLUSIONES

La implementación de herramientas de Gestión de Calidad en las PyMEs puede proporcionar beneficios significativos, incluyendo la reducción de costos, la mejora de la eficiencia operativa y la promoción de la sustentabilidad. La combinación de metodologías clave, como las desarrolladas en el presente Trabajo, ofrecen un enfoque integral para abordar los desafíos específicos de este sector.

3.1. Hallazgos Principales

Beneficios Clave de la conjunción de Gestión de la Calidad con principios de Sustentabilidad:

- Reducción de Costos: La eliminación de desperdicios y la optimización de los procesos de producción pueden resultar en una disminución significativa de los costos operativos. Esto incluye la reducción del uso de energía y materias primas, así como la minimización de los defectos del producto.
- Mejora de la Calidad del Producto: Las herramientas de gestión de calidad permiten un control más preciso de los procesos de producción, lo que resulta en productos más consistentes y de mayor calidad. Esto, a su vez, puede aumentar la satisfacción del cliente y la lealtad a la marca.
- Promoción de la Sustentabilidad: La integración de prácticas sustentables no solo mejoran la

eficiencia operativa, sino que también fortalecen la reputación de la empresa y su relación con la comunidad. Las prácticas sostenibles pueden incluir la reducción del uso de recursos, la gestión eficiente de residuos y la adopción de tecnologías más limpias.

- Adaptabilidad y Resiliencia: Las PyMEs, debido a su flexibilidad y capacidad de adaptación, están bien posicionadas para implementar cambios rápidamente y responder a las demandas del mercado y las regulaciones ambientales. Esto les permite ser más resilientes ante los desafíos y aprovechar las oportunidades emergentes.

3.2. Recomendaciones

Para maximizar los beneficios de la implementación de herramientas de Gestión de la Calidad y promover la Sustentabilidad en el sector PyME, se recomienda:

- Capacitación y Formación: Invertir en la capacitación de los empleados para asegurar que comprendan y puedan aplicar eficazmente las herramientas de gestión de calidad. La formación continua es crucial para mantener altos estándares de calidad y fomentar una cultura de mejora continua.
- Colaboración y Alianzas: Fomentar la colaboración con otras empresas, instituciones académicas y organizaciones no gubernamentales para compartir conocimientos y mejores prácticas. Las alianzas estratégicas pueden potenciar los esfuerzos de sustentabilidad y generar beneficios mutuos.
- Innovación y Tecnología: Adoptar nuevas tecnologías y prácticas innovadoras que puedan mejorar la eficiencia operativa y reducir el impacto ambiental. Esto incluye la inversión en equipos más eficientes, la implementación de sistemas de gestión de energía y la exploración de nuevas técnicas de producción.
- Monitoreo y Evaluación: Establecer sistemas de monitoreo y evaluación para medir el progreso hacia los objetivos de calidad y sustentabilidad. La recopilación y el análisis de datos son fundamentales para realizar ajustes informados y asegurar la mejora continua.

4. REFERENCIAS

Burgos-Jiménez, J. &. (2016). *Green innovation and sustainable performance: A comparative study of SMEs and large enterprises.* Journal of Cleaner Production - Elsevie.

Eccles, R. G. (2014). *The Impact of Corporate Sustainability on Organizational Processes and Performance.* Management Science.

Elkington, J. (2012). *The Zeronauts: Breaking the Sustainability Barrier.* Routledge.

Fernández, J. M. (2021). Total Quality Management (TQM) and Sustainability in SMEs: Exploring the Connection for Business Performance. *International Journal of Production Economics*, 235, 108117.

Fiksel, J. (2014). *Design for Environment: A Guide to Sustainable Product Development.* CRC Press.

Guerrero, M. &. (2022). Green Innovation in SMEs and the Role of Environmental Regulation: Evidence from Latin America. . *Journal of Cleaner Production.*

Heizer, J. &. (2017). *Operations Management: Sustainability and SCM.* Pearson Education Limited.

Kumar, S. &. (2018). *FMEA-based Risk Assessment in Manufacturing Industries: A Case Study on Indian SMEs.* Procedia Manufacturing.

Liu, Y. &. (2019). *Sustainable practices and customer satisfaction: An empirical study of SMEs in the fashion industry.* Journal of Cleaner Production.

Liu, Y. C. (2018). *The Application of PDCA Cycle Management Method in SME Production Management.* Journal of Cleaner Production.

López, C. &. (2016). *Lean Six Sigma and Sustainability: A Comprehensive Guide.* Springer.

Mahmood, Q. &. (2023). Six Sigma and Quality Management in Small Enterprises: Applications for Process Improvement and Sustainability. *Journal of Manufacturing Processes.*

Martínez-Conesa, I. P.-M. (2020). *The impact of environmental training on waste management in SMEs: Evidence from Spain.* Journal of Cleaner Production.

Martinho, C. &. (2020). *The influence of environmental sustainability on customer satisfaction and loyalty in SMEs.* Sustainable Development.

Montgomery, D. C. (2019). *Introduction to Statistical Quality Control (8th ed.).* John Wiley & Sons.

Paniagua, J. &.-C. (2019). *The influence of environmental management on operational performance in SMEs.* Journal of Environmental Management.

Peters, F. &. (2015). *Control Charts for Startups: Reducing Costs in Small Manufacturing Firms.* International Journal of Production Economics.

Singh, B. &.(2017). *Lean implementation and its benefits to production.* Int. Journal of Lean Six Sigma.

Yadav, R. &. (2017). *Sustainable production practices and their impact on operational performance: A case study of the manufacturing sector.* Journal of Manufacturing Processes - Elsevier.

"CONSUMO RESIDENCIAL SOSTENIBLE: EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL, BARRERAS Y OPORTUNIDADES DE MEJORA"

Moreno Valeria [(1)]; Alfarano Javier [(2)]; Freytes Mariano [(1)]; Luque Vazquez Florencia [(1)]; Monasterolo Nicolás [(1)]

Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional (1)
GICCAP "Grupo de Investigación en Control Avanzado de Procesos y Producción
vmoreno@frc.utn.edu.ar
Facultad Regional Tierra del Fuego, Universidad Tecnológica Nacional (2)
GICCAP "Grupo de Investigación en Control Avanzado de Procesos y Producción

RESUMEN

Este estudio tiene como objetivo analizar el consumo en los hogares argentinos y la gestión de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), identificando barreras y oportunidades para optimizar prácticas de consumo responsable y separación de residuos.

Se realizó una encuesta a través de Google Forms con 327 respuestas, enfocándose en la generación y gestión de RSU en los hogares. La encuesta se estructuró en tres secciones: información general sobre RSU, impedimentos para la separación de residuos y prácticas de hogares que sí separan sus RSU. La provincia de Córdoba, con el 53% de las respuestas, fue la muestra más representativa.

Los resultados destacan la necesidad de mejorar la infraestructura y la educación para fomentar prácticas sostenibles. La implementación de políticas regulatorias es crucial para promover la separación de RSU y un consumo responsable. Este análisis subraya la importancia de una intervención estatal para mejorar la gestión de RSU y reducir la huella de carbono.

Palabras Claves: Consumo Residencial Sostenible, Gestión de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), Huella de Carbono.

ABSTRACT

This study aims to analyze household consumption in Argentina and the management of Urban Solid Waste (RSU), identifying barriers and opportunities to optimize responsible consumption practices and waste separation.

A survey was conducted through Google Forms with 327 responses, focusing on the generation and management of RSU in households. The survey was structured into three sections: general information about RSU, impediments to waste separation, and practices of households that do separate their waste. The province of Córdoba, with 53% of the responses, was the most representative sample.

The results highlight the need to improve infrastructure and education to foster sustainable practices. The implementation of regulatory policies is crucial to promoting RSU separation and responsible consumption. This analysis underscores the importance of state intervention to improve RSU management and reduce the carbon footprint.

Keywords: Sustainable Household Consumption, Urban Solid Waste (RSU) Management, Carbon Footprint.

1. INTRODUCCIÓN

La creciente preocupación por la sostenibilidad ambiental y la gestión eficiente de recursos ha llevado a una reevaluación de las prácticas de consumo y manejo de residuos a nivel global (PActo Mundial ONU, 2024; Ubillús-Farfán et al., 2024; Velásquez-Pita et al., 2023). En Argentina, la generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) representa un desafío significativo que no solo afecta la calidad de vida de los ciudadanos, sino que también incide en la salud del entorno natural (Herrera-Uchalin et al., 2023; SAyDS, 2019) . Este contexto resalta la necesidad de comprender las dinámicas de consumo en los hogares argentinos y su relación con la gestión de residuos, dado que una adecuada separación y disposición de estos es crucial para mitigar impactos ambientales adversos (Ubillús-Farfán et al., 2024).

Este estudio tiene como objetivo analizar el consumo en los hogares argentinos y la gestión de RSU, identificando las barreras que dificultan la separación de residuos y las oportunidades para optimizar prácticas de consumo responsable (*Consumo sostenible*, 2018; SAyDS, 2019). Para ello, se ha diseñado una encuesta que busca capturar actitudes y comportamientos de la población en relación con la generación y manejo de sus residuos (ONU, 2024). Al centrarse en el comportamiento de los hogares, se pretende ofrecer una visión integral que aborde no solo las prácticas actuales, sino también las percepciones y motivaciones que subyacen a dichas prácticas (ONU, 2024).

La encuesta se estructuró en tres secciones principales: información general sobre RSU, impedimentos para la separación de residuos y las prácticas de aquellos hogares que implementan la separación (Herrera-Uchalin et al., 2023; ONU, 2024; SAyDS, 2019; Ubillús-Farfán et al., 2024). La provincia de Córdoba, que representa más del 50% de las respuestas, se destaca como la muestra más representativa. Los hallazgos derivados de este análisis no solo contribuirán al entendimiento del comportamiento de consumo y gestión de residuos en el contexto argentino, sino que también servirán como base para el desarrollo de políticas y estrategias que promuevan un consumo más sostenible y eficiente en la sociedad, alineándose con las metas de sostenibilidad global.

2. METODOLOGÍA

2.1. Definición del objetivo y público la encuesta

El objetivo principal de la encuesta es recopilar información detallada sobre los hábitos y comportamientos de las personas relacionados con la generación y gestión de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en los hogares del sector residencial de Argentina. Cabe destacar que la mayor cantidad de encuestados fue en la provincia de Córdoba (52%).

La encuesta está dirigida a hogares de todo el país, con el fin de comprender las prácticas actuales y comunes en torno a la separación de residuos, las barreras que impiden dicha separación, y la percepción de los encuestados sobre las mejores formas de lograr una gestión eficiente de los RSU (INDEC, 2019).

Los resultados permitirán identificar oportunidades para mejorar la recolección y disposición final de los RSU, así como proponer recomendaciones para reducir la huella de carbono.

2.2. Elaboración de la encuesta

La encuesta fue diseñada en la plataforma Google Forms y se dividió en 3 secciones para abordar distintos aspectos de la generación y manejo de los RSU dependiendo del comportamiento de los encuestados, como se detalla a continuación (*Ciudades sostenibles*, 2018; Ubillús-Farfán et al., 2024):

2.2.1 Información general sobre la generación de RSU: esta sección se destinó principalmente a la recopilación de datos sobre la frecuencia con la que los hogares llenan sus bolsas de basura y el tamaño de estas. Además, se incluyó una pregunta abierta para conocer la opinión de los encuestados sobre qué medidas podrían contribuir a una gestión más eficiente de los residuos. Un punto clave en esta sección fue identificar si en el hogar se separan los residuos (orgánicos, plásticos, vidrio, etc.) (Ubillús-Farfán et al., 2024; Velásquez-Pita et al., 2023).

2.2.2 Hogares que no separan residuos: en esta sección se buscó identificar las razones por las cuales los habitantes no separan los residuos. Las preguntas exploraron posibles obstáculos, como la falta de infraestructura, el desconocimiento sobre cómo hacerlo, o la falta de tiempo. Además, se

recopiló información sobre el nivel de conocimiento que tienen los encuestados acerca de la importancia y beneficios de la separación de RSU (*Consumo sostenible*, 2018).

2.2.3 Hogares que separan residuos: En este apartado se indagó sobre los servicios a los que los hogares tienen acceso para la recolección diferenciada de residuos. También se preguntó cómo se maneja la disposición final de los RSU húmedos, particularmente, si se realiza compostaje o si simplemente se desechan en el cesto de basura común. Estos datos son clave para evaluar el nivel de sostenibilidad de los hogares que practican la separación de residuos.

2.3. Ejecución y distribución de la encuesta

La encuesta se distribuyó a través de varias plataformas, incluyendo redes sociales (Facebook, Instagram, Twitter), aplicaciones de mensajería (WhatsApp) y redes profesionales (LinkedIn). Esta estrategia, permitió alcanzar un público más diverso, tanto en términos de ubicación geográfica como así también en su perfil socioeconómico, lo que garantiza una representación más amplia de los sectores residenciales del país.

Cabe destacar que la participación de los encuestados fue voluntaria y anónima, lo que facilitó una mayor honestidad en las respuestas.

2.4. Análisis de resultados y elaboración de conclusiones y recomendaciones

Una vez finalizada la recolección de datos, se procedió a su análisis utilizando herramientas de procesamiento estadístico y de visualización, en este caso se trabajó principalmente con Excel y Power BI. Se evaluaron las respuestas en función de la frecuencia de separación de RSU en los hogares, los impedimentos identificados en los hogares que no separan, y las prácticas adoptadas por los hogares que sí lo hacen. A su vez, se analizaron las opiniones de los encuestados sobre la gestión eficiente de los residuos.

El análisis de resultados de las encuestas se centró en identificar las barreras más comunes para la separación de RSU y las acciones de mejora necesarias para superarlas, como la necesidad de mayor infraestructura en las ciudades o programas de educación ambiental.

Con base en los datos obtenidos, se elaboraron recomendaciones específicas para mejorar la recolección diferenciada y la disposición final de los RSU, promoviendo prácticas que puedan reducir la huella de carbono en el ámbito residencial.

3. RESULTADOS

3.1. Análisis Inicial de la Encuesta

En esta sección, se presentan los datos demográficos y los patrones generales de comportamiento relacionados con la generación y gestión de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en los hogares argentinos (*Consumo sostenible*, 2018; ONU, 2024; SAyDS, 2019). Los resultados se agrupan por rangos etarios y características de vivienda para identificar tendencias comunes. Este enfoque permite resaltar las similitudes y diferencias en las prácticas de separación de residuos, así como los factores que influyen en la frecuencia y la forma en que los hogares manejan sus residuos. A continuación, se detallan estos hallazgos.

El análisis de los datos demográficos revela que la mayoría de los encuestados se encuentran en el rango etario de 25 a 34 años. En este grupo, la mayoría vive en departamentos sin patio, generalmente en hogares de dos personas. Estos encuestados indican que llenan su bolsa de basura tres veces por semana, depositándola en un contenedor único, principalmente debido a la falta de tiempo para separar los residuos.

En el rango de 18 a 24 años, también predominan los hogares de dos personas en departamentos sin patio. En este caso, llenan su bolsa de basura dos veces por semana y la depositan en un contenedor del edificio. La falta de conocimiento y tiempo son las razones principales para no separar los residuos.

Para los participantes de entre 35 y 50 años, la mayoría vive en casas con patio, generalmente en grupos de cuatro personas. Estos encuestados llenan su bolsa de basura dos veces por semana, utilizando un contenedor único, y mencionan que la falta de espacio es el principal obstáculo para la separación de residuos.

Los encuestados mayores de 50 años, por su parte, viven en casas con patio, generalmente en grupos de dos personas. Aunque muchos separan los residuos, algunos argumentan que no lo hacen porque no ven sentido en la práctica.

En general, la gran mayoría de los encuestados no aplica ninguna metodología de reciclaje, especialmente entre los jóvenes de 18 a 34 años, quienes reportan desconocer la existencia de centros de reciclaje en su área (Figura 1). A pesar de que este grupo manifiesta conocer la diferencia entre residuos húmedos y secos y sus posibles usos en el reciclaje, aun así no implementan la separación en sus hogares por falta de información sobre los centros de reciclaje disponibles.



Figura 1. Ejemplo de análisis de datos a través de PowerBI (Elaboración propia)

3.2. Resultados Obtenidos de la Encuesta

De la encuesta realizada y desarrollada en el inciso anterior, se obtuvo un total de 327 respuestas. La mayor cantidad obtenida provienen de la provincia de Córdoba con un total de 173 encuestados. A supo vez, el rango de edad de mayor participación se encuentra entre los 25 y 34 años con más de 60 casos y el promedio de habitantes por hogar se encuentra levemente por debajo de los 3 (Figura 2).

Debido a que la provincia de Córdoba fue la que mayor participación tuvo en las encuestas, será la seleccionada para el análisis de los diversos puntos mencionados inicialmente respecto a la gestión de residuos sólidos urbanos.

Las respuestas obtenidas indican que en promedio se llenan las bolsas de basura entre 3 y 4 veces por semana por hogar. Esta frecuencia se encuentra asociada a la cantidad de personas que habitan en el hogar que, como se dijo anteriormente, en esta provincia se aproxima a 3.

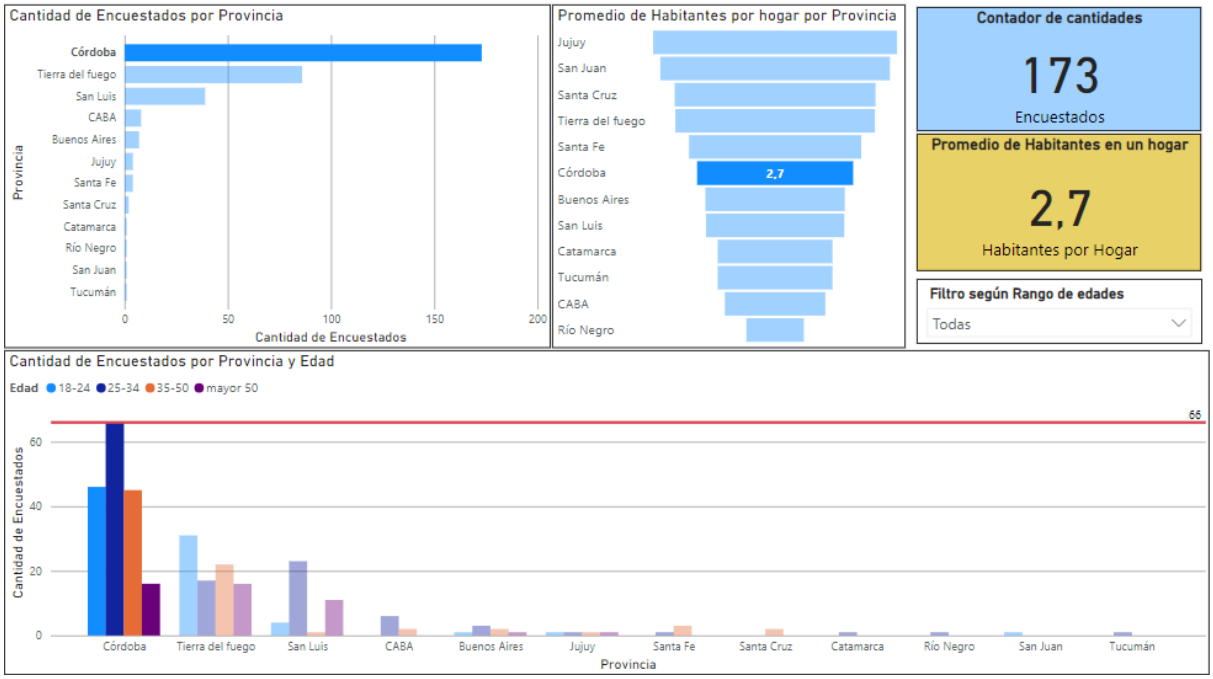


Figura 2. Distribución de encuestas por provincia y rango etario (Elaboración propia)

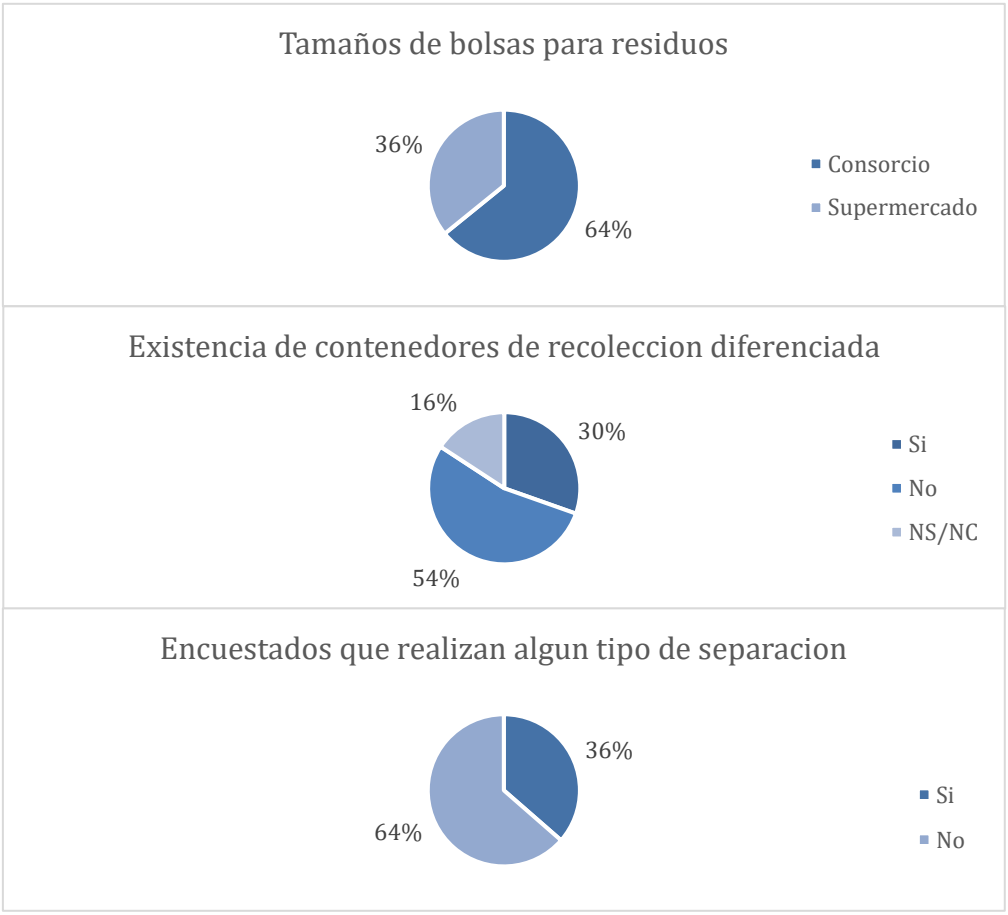


Figura 3. Diferentes datos sobre la diferenciación de residuos en hogares de Córdoba (Elaboración propia)

En Córdoba 94 hogares resaltaron que no cuentan con contenedores diferenciados (RSU Húmedos-RSU Secos) para la disposición de sus residuos, lo cual esto es primordial para comenzar con una correcta separación desde el hogar. Esto forma parte de factores infraestructurales, que conducen a una desmotivación en el hogar para dar inicio a una separación de los RSU.

Esta falta de infraestructura puede conducir al siguiente resultado en donde se observa que de las respuestas obtenidas de Córdoba, más del 60% no lleva a cabo separación de los RSU. Del total de encuestados, el 65% no separa sus RSU, llevando a complejizar en la gestión de los mismos.

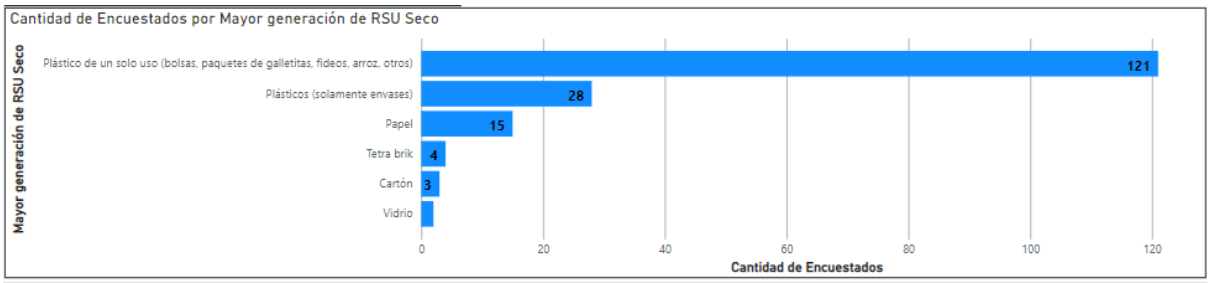


Figura 4. Mayor generación de RSU Seco (Elaboración propia)

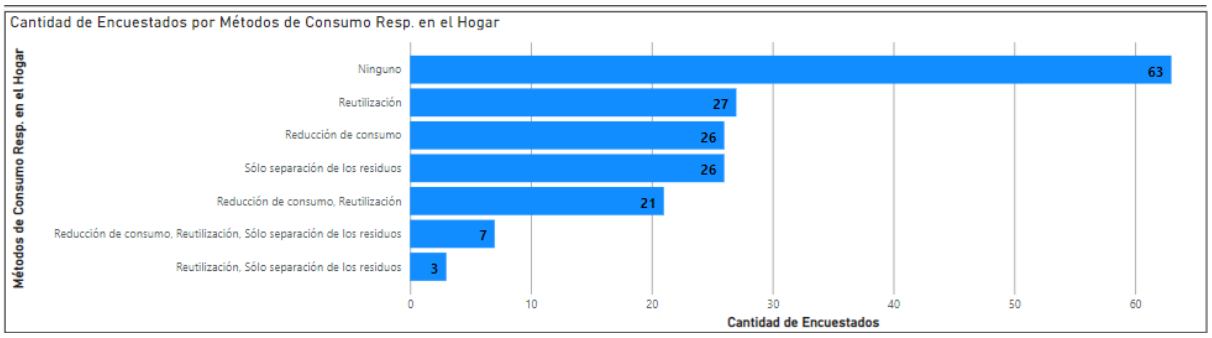


Figura 5. Métodos de Consumo Responsable (Elaboración propia)

De los dos últimos gráficos, se resume lo siguiente:

- **Mayor RSU Seco que se genera** (Figura 4): se puede observar que los plásticos (tanto los de un solo uso, como envases) son los que en su mayoría se generan en los hogares. Esto es lógico, dado a que una gran cantidad de productos que sirven como contención o packaging de otros, como así también aquellos que son utilizados en los hogares para una función específica, están fabricados con polímeros.
- **Métodos de Consumo Responsable** (Figura 5): en este punto se buscó analizar cuáles eran las formas de consumo responsable que más se llevaba a cabo en el hogar. En el caso de Córdoba, se puede observar que en la mayoría de los hogares no se lleva a cabo ningún tipo de método para lograr un consumo responsable. De igual manera, se aprecia que, en un total de 110 hogares de Córdoba, se efectúan diferentes métodos asociados a un consumo eficiente, que puede abarcar la aplicación individual de cada uno (Reducción, Reutilización y Separación de Residuos), como también una combinación de estos.

3.2.1. Sección “Hogares que no separan residuos”

Como se mencionó anteriormente, de las 327 respuestas obtenidas, un total de 211 de las mismas (65%) indicaron que no llevan a cabo la separación de RSU (Seco y Húmedos) en sus hogares.

Se analizará a continuación los motivos, como así también la información con la que cuentan en dichos hogares sobre la temática, y haciendo foco en la provincia de Córdoba que es en donde se obtuvo la mayor muestra representativa.

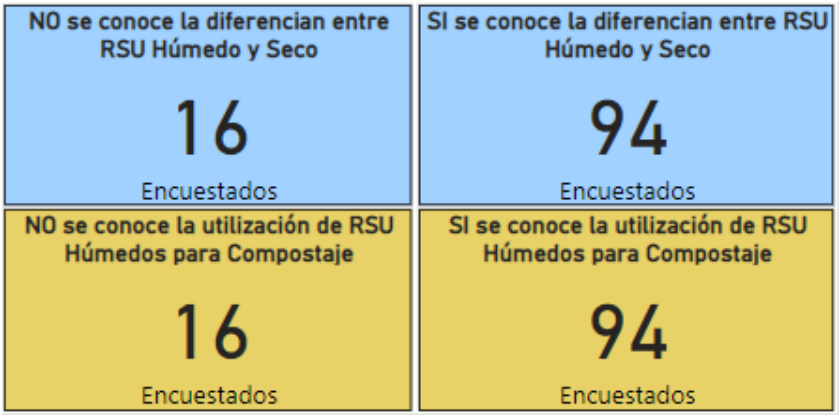


Figura 6. Conocimiento sobre la separación de RSU y su uso para compostaje (Elaboración propia)

En Córdoba, hubo un total de 110 hogares que indicaron que no separaban sus RSU. Se buscó entender si esa ausencia de separación viene dada por faltas de conocimientos en el tema, lo cual, se aprecia, que la mayor parte de los encuestados conoce la diferencia entre RSU Secos y RSU Húmedos y además, indicó que entiende que los RSU Húmedos pueden ser utilizados para compostaje.

Para ambos casos, se habla de una proporción del 85% que entiende sobre dos puntos fundamentales que sirven para que en los hogares se efectúe una correcta separación que inicie una buena gestión de los RSU.

Por lo tanto, dentro de la encuesta se buscó entender los principales motivos de no llevar a cabo la separación de los RSU en el hogar, en donde se recopiló una gran cantidad de aspectos como así también, otras opiniones propias de los encuestados y se pudo determinar que los principales motivos se encuentran asociados a los siguientes puntos:

- “No tiene sentido (en donde vivo no se gestionan los Residuos)”: esto se encuentra fuertemente relacionado a la falta de infraestructura por parte del estado. Este fue el principal motivo, en donde se destacó este aspecto en el análisis inicial.
- “Desconocimiento de la forma de hacerlo”: la información está al alcance de todos, es posible llevar a cabo una mayor comunicación sobre este tema para informar a los hogares, como así también, que haya un mayor hincapié sobre este tema en los centros educativos para fortalecer estos aspectos asociados a la “Desinformación”.
- “Falta de Tiempo y Falta de espacio en el hogar”: es necesario buscar una manera de lograr una mayor concientización en los hogares, como así también, indicar que es posible efectuar una separación de RSU Secos, sin necesidad de contar con un gran espacio dentro de la vivienda.

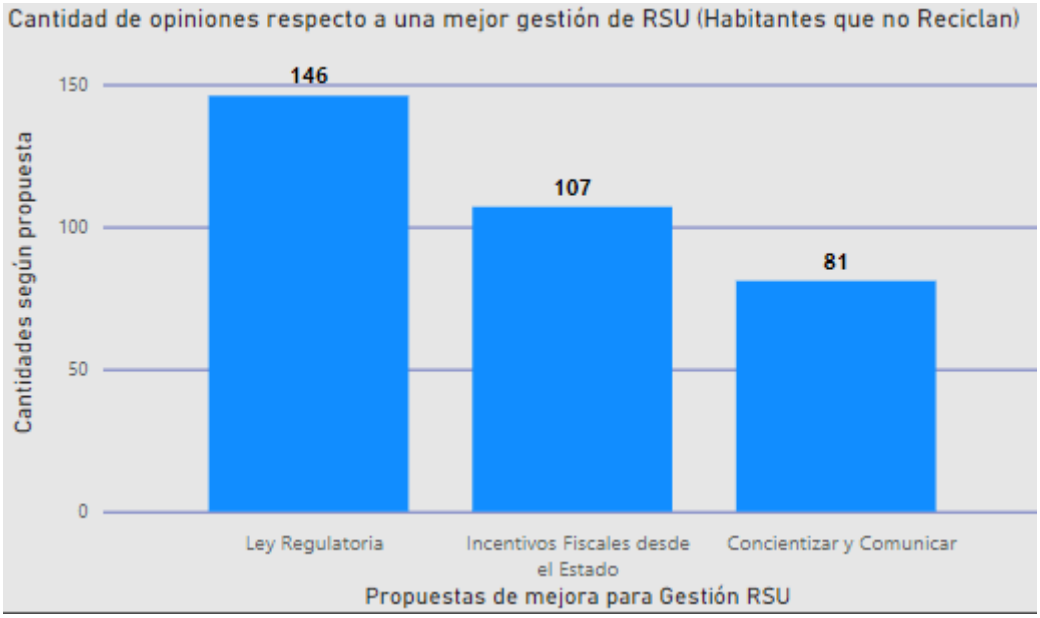


Figura 7. Propuestas de mejora para la gestión de RSU según habitantes que no reciclan (Elaboración propia)

Finalmente, teniendo en cuenta la totalidad de respuestas que abarcan a la sección de hogares que NO separan sus RSU, se consultó cuáles de las propuestas visualizadas en el gráfico anterior, se estima que ayudaría a lograr un sistema eficiente en la gestión de los RSU, lo cual se puede observar que hubo una gran cantidad de respuestas que consideran apropiado que exista una Ley Regulatoria que lleve a que en los hogares se separen los RSU generados por los consumos correspondientes.

3.2.2. Sección “Hogares que separan residuos”

Del total de respuestas obtenidas, un 35% (116 hogares) indicó que se lleva a cabo la separación de los RSU. En la provincia de Córdoba corresponde a un total de 63 hogares.

Para dichos hogares, se entiende que los habitantes que conforman a la vivienda poseen conocimientos respecto al tema, en donde, por lo tanto, debe ser conocida la diferencia entre los RSU Húmedos y Secos.

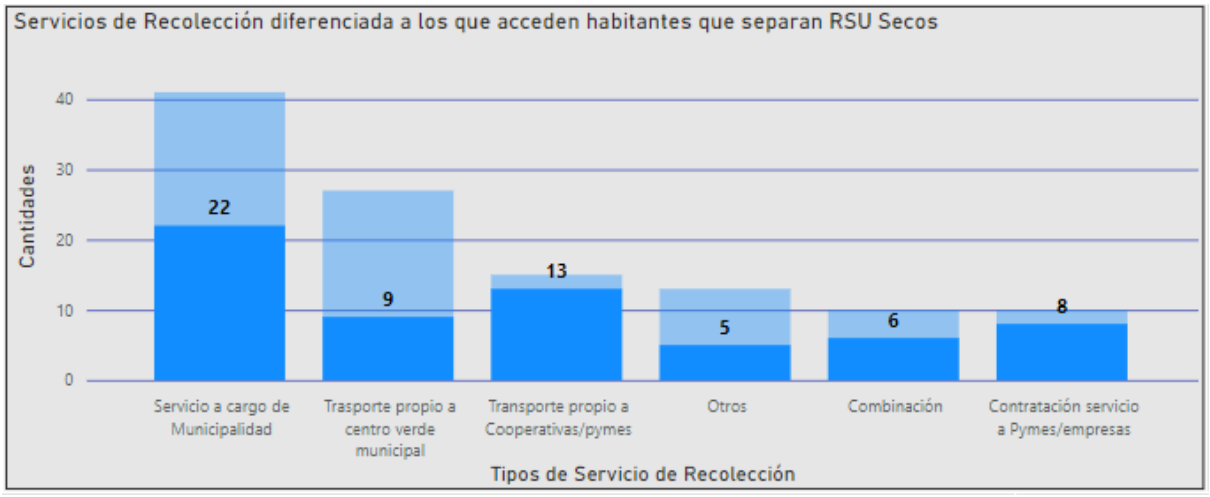


Figura 8. Tipos de servicios de recolección diferenciada utilizados por hogares que separan RSU secos (Elaboración propia)

La mayor parte de los hogares que separan los RSU, acuden al servicio de recolección diferenciada que posee la ciudad, donde se puede observar que otra parte traslada por cuenta propia los RSU Secos a cooperativas/pymes.

Del total de respuestas obtenidas, la mayor parte accede al servicio de recolección de la municipalidad correspondiente, pero la segunda mayor proporción, efectúa un transporte por cuenta propia a centros verdes de acopio a cargo de la municipalidad. Se ve reflejada el gran papel que posee el estado para lograr que en los hogares se logré un consumo general que sea sostenible.

Para entender qué sucede con los RSU Húmedos, en la sección de hogares que separan sus residuos, se consultó si los residuos orgánicos obtenidos eran destinados directamente a la basura, o bien, acudían a compostaje o degradación en el jardín.

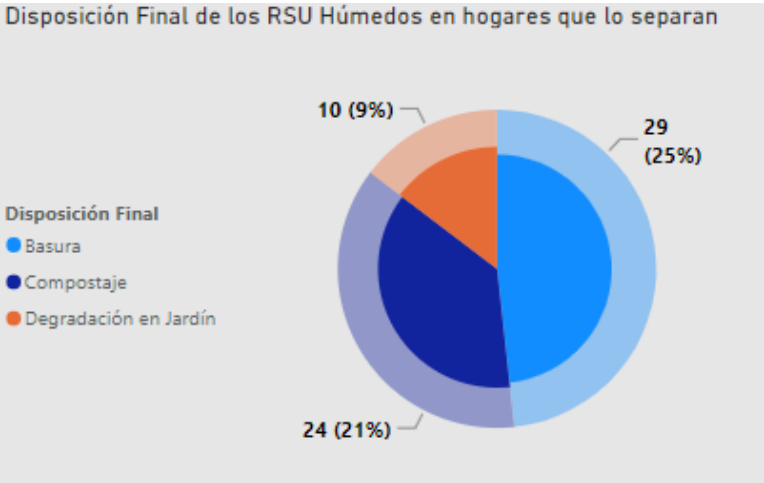


Figura 9. Disposición final de los RSU húmedos en hogares que realizan separación (Elaboración propia)

La mayor proporción de estos hogares destina la totalidad de orgánicos a la basura, pero se aprecia que no por una gran diferencia, existe un 21% dentro del total, el cual realiza actividades de compostaje para aprovechar los RSU Húmedos generados.

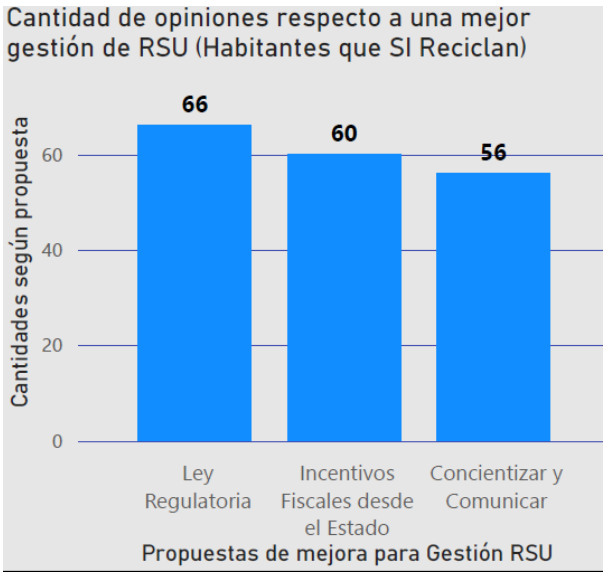


Figura 10. Propuestas de mejora para la gestión de RSU según habitantes que sí reciclan (Elaboración propia)

Al igual que la sección anterior, del total de hogares que separan los RSU, los mismos consideran fundamental la aplicación de una Ley Regulatoria que lleve a que en las residencias se comience a tener en cuenta la separación de sus Residuos derivados de los consumos correspondientes.

3.3. Principales barreras y oportunidades detectadas

A continuación, se nombrarán algunas de las limitaciones y posibles soluciones a la generación y deposición final de RSU (residuos sólidos urbanos):

3.3.1 Barreras detectadas

Falta de Infraestructura en las ciudades

El 65% de los encuestados en general, y 60% en Córdoba, no realiza la separación de residuos, lo que indica que la infraestructura y los servicios de recolección diferenciada no son accesibles o efectivos en muchas áreas de las ciudades.

Esto se debe a que, por ejemplo, en la provincia de Córdoba 94 hogares indicaron no contar con contenedores diferenciados para RSU secos y húmedos, lo cual impide una separación efectiva desde el hogar. Reflejando así, falta de apoyo por parte de las autoridades locales representando un obstáculo significativo para la correcta gestión de residuos.

Falta de confianza en el sistema

Parte de los encuestados mencionaron que "no tiene sentido" separar los RSU, ya que en sus localidades no se gestiona adecuadamente. Esto revela una falta de credibilidad en el sistema de recolección y disposición final de residuos, lo que desmotiva a la ciudadanía a realizarlo.

Falta de información y capacitación

A pesar de que la mayoría de los encuestados en Córdoba (85%) entiende la diferencia entre RSU secos y húmedos y conoce el potencial del compostaje, sigue habiendo una falta de acción por desconocimiento en algunos hogares, ya que el 35% de los que no separan mencionan la "desinformación" como un factor relevante.

Limitaciones de espacio y tiempo en los hogares

Las familias que perciben la separación de RSU como una tarea compleja o que requiere espacio adicional. Las mismas tienden a no involucrarse, lo cual requiere soluciones prácticas y accesibles. La "falta de tiempo" y "falta de espacio" en los hogares fueron nombradas.

3.3.2 Oportunidades de mejora

Conciencia ambiental existente

A pesar de las barreras, un 85% de los encuestados en Córdoba tiene conocimiento sobre la importancia de separar los RSU secos y húmedos, y muchos entienden el concepto del compostaje. Esto es una oportunidad para fomentar la acción, aprovechando la conciencia que ya está presente en los hogares.

Iniciativas de consumo y prácticas responsable

En 110 hogares de Córdoba se aplican medidas de consumo responsable como la reducción, reutilización y separación de residuos. Aunque la mayoría de los hogares no aplica estas prácticas, este segmento de la población muestra que, existen casos exitosos que podrían ampliarse con capacitación y mayor infraestructura.

Por otro lado, si bien la mayor parte de los residuos orgánicos aún se destina a la basura, un 21% de los hogares que separan los RSU ya están realizando actividades de compostaje. Esto presenta una oportunidad de expansión, con programas de incentivos y formación sobre compostaje doméstico, especialmente para reducir los residuos húmedos.

Apoyo inicial a la regulación

En los hogares que separan como en los que no lo hacen, se detectó un fuerte apoyo a la implementación de una Ley que obligue a la separación de RSU. Esta es una oportunidad para que el Estado en general, o cada municipio en particular, lidere una política pública efectiva que incentive el reciclaje y la sostenibilidad en las viviendas.

Mejora en los servicios de recolección diferenciada

En general, existe una infraestructura básica de recolección diferenciada, con hogares que acceden a servicios municipales o llevan los residuos a centros verdes. Mejorar la cobertura y accesibilidad de estos servicios, junto con campañas de concienciación, podría aumentar la participación en la separación de RSU.

3.4. Resumen general de resultados

Este estudio ha proporcionado una visión integral sobre el consumo residencial sostenible y la gestión de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en Argentina, destacando las barreras y oportunidades presentes en la población encuestada. A partir del análisis de los datos, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

Demografía y Comportamiento: La mayoría de los encuestados se encuentra en el rango etario de 25 a 34 años, con una predominancia de hogares de dos personas en departamentos sin patio. Este patrón se refleja en la frecuencia con la que llenan sus bolsas de basura, indicando un comportamiento de gestión de residuos que no favorece la separación ni el reciclaje.

Obstáculos a la Separación de Residuos: Las principales barreras identificadas para la separación de RSU incluyen la falta de tiempo, desconocimiento sobre cómo llevar a cabo la separación, y la percepción de que no existen centros de reciclaje accesibles. Estas barreras son particularmente pronunciadas en los grupos más jóvenes, quienes, a pesar de tener conocimiento sobre la clasificación de residuos, no aplican esta práctica en sus hogares.

Necesidad de Infraestructura y Educación: La falta de infraestructura adecuada, como contenedores diferenciados, se presenta como un obstáculo crítico que desmotiva a los ciudadanos a separar sus residuos. Además, la educación y la concienciación ambiental son esenciales para fomentar prácticas de consumo responsable. Las iniciativas educativas en centros escolares y comunidades pueden ser un paso clave hacia un cambio de comportamiento.

Oportunidades de Mejora: A pesar de las barreras, existe una conciencia ambiental significativa en la población, lo que sugiere que hay un potencial para fomentar prácticas de separación de residuos y reciclaje. La implementación de políticas regulatorias, como leyes que obliguen la separación de residuos en los hogares, puede ser una estrategia efectiva para incentivar a los ciudadanos a adoptar hábitos más sostenibles.

Implicaciones para Políticas Públicas: Este estudio subraya la importancia de la intervención estatal en la gestión de RSU. Las políticas públicas deben enfocarse en mejorar la infraestructura y ofrecer programas educativos que capaciten a la población sobre la importancia de la separación de residuos. Asimismo, la colaboración entre gobiernos locales, organizaciones no gubernamentales y la comunidad es fundamental para desarrollar un enfoque holístico que promueva un consumo sostenible.

En resumen, para lograr una gestión eficiente de los residuos en los hogares argentinos, es crucial abordar las barreras identificadas y aprovechar las oportunidades presentes. Este estudio no solo contribuye a la comprensión del comportamiento de los ciudadanos frente a la gestión de residuos, sino que también ofrece recomendaciones prácticas que pueden guiar futuras políticas y acciones hacia un desarrollo más sostenible.

4. CONCLUSIONES

El presente estudio ha revelado que la generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) está fuertemente vinculada al número de habitantes en los hogares. Los resultados obtenidos en la encuesta confirman esta relación, mostrando que las provincias con un mayor número de encuestados, como Córdoba, Tierra del Fuego y San Luis, presentan promedios elevados de generación de RSU. Es notable que el 62% de los encuestados no cuenta en sus áreas residenciales con contenedores diferenciados, lo que genera una desmotivación significativa para la separación de residuos. Sin embargo, el 42% de los participantes indicó que implementan otras prácticas de consumo responsable, como la reducción del consumo y la reutilización de materiales.

A pesar de que muchos encuestados comprenden la diferencia entre residuos húmedos y secos, y reconocen el potencial de los residuos orgánicos como recursos, persisten barreras que limitan su capacidad para separar adecuadamente sus residuos. La falta de infraestructura adecuada se destaca

como un obstáculo crítico, y se evidencia la necesidad de una mayor difusión y educación para aumentar la conciencia sobre la importancia del reciclaje. Además, muchos encuestados señalaron que no conocen la forma correcta de realizar la separación, ni disponen del espacio o tiempo necesario, lo que refleja una desinformación que puede abordarse con simples cambios en los hábitos diarios.

Los resultados también sugieren que una intervención estatal es crucial para promover una gestión eficiente de los RSU. Las políticas regulatorias, como la implementación de leyes que obliguen a la separación de residuos y la creación de incentivos, podrían motivar a los ciudadanos a adoptar prácticas más sostenibles. La mayoría de los encuestados que sí separan sus residuos lo hacen a través de servicios de recolección diferenciada proporcionados por la municipalidad o trasladando sus residuos a centros de acopio. Esto subraya la importancia de contar con una infraestructura adecuada y de calidad.

Asimismo, el compostaje se presenta como una práctica fundamental que debe fomentarse, dado que podría descentralizar la recolección de los residuos orgánicos. En un contexto donde no existen grandes plantas de tratamiento para aprovechar los desechos alimenticios, el compostaje doméstico se convierte en una alternativa viable para reducir la carga de residuos. En resumen, este estudio no solo identifica las barreras y oportunidades presentes en la gestión de RSU en Argentina, sino que también proporciona recomendaciones prácticas para guiar futuras políticas y acciones hacia un desarrollo más sostenible.

5. REFERENCIAS

Ciudades sostenibles. (2018, febrero 1). Argentina.gob.ar. https://www.argentina.gob.ar/ambiente/desarrollo-sostenible/ciudades-sostenibles

Consumo sostenible. (2018, octubre 26). Argentina.gob.ar. https://www.argentina.gob.ar/ambiente/desarrollo-sostenible/consumo-sostenible

Herrera-Uchalin, M. G., Valiente-Saldaña, Y. M., Garibay-Castillo, J. V., & Herrera-Cherres, S. (2023). Manejo de residuos sólidos en la gestión municipal: Revisión sistémica. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2542-30882023000200150

INDEC. (2019). INDEC: Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina. https://www.indec.gob.ar/

ONU. (2024). Consumo y producción sostenibles. Desarrollo Sostenible. https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/

PActo Mundial ONU. (2024). ODS Objetivos de Desarrollo Sostenible | Pacto Mundial ONU. Pacto Mundial. https://www.pactomundial.org/que-puedes-hacer-tu/ods/

SAyDS. (2019). Inventario GEI Argentina. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/inventario_de_gei_de_2019_de_la_republica_argentina.pdf

Ubillús-Farfán, S. W., Valiente-Saldaña, Y. M., & Patiño-Ramírez, S. (2024). Estrategias aplicadas en la gestión de residuos sólidos en Latinoamérica: Revisión literaria. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2542-30882024000100119&lng=es&nrm=iso

Velásquez-Pita, F. E., Olivera-Aldana, M. F., Diaz-Valiente, F. A., & Mantilla-Sevillano, J. E. (2023). Gestión de residuos sólidos: Una revisión documental. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2542-30882023000400806&lng=es&nrm=iso

"DESAFÍOS PRESENTES Y OPORTUNIDADES FUTURAS DE LA GOBERNABILIDAD AMBIENTAL: PASAPORTE DEL PRODUCTO EN LA UE Y LAS ECOETIQUETAS"

Kunda, Beatriz del Valle. Carrizo, Blanca Rosa. Caminos, Constanza

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Córdoba - GICAPP
beatrizvk@yahoo.com.ar; bcarrizo@frc.utn.edu.ar; constanzaccaminos@gmail.com

RESUMEN

En el contexto actual de creciente conciencia ambiental, herramientas como el Pasaporte de Producto (PP) y las ecoetiquetas son esenciales para promover prácticas sostenibles, impulsar la economía circular y fomentar la concientización tanto de productores como de consumidores hacia conductas más responsables en términos de cuidado del medioambiente.

Estas herramientas, ya consolidadas en mercados internacionales como el europeo, han generado una barrera para los productos que no cuentan con certificaciones de sostenibilidad, ya que estos enfrentan dificultades para competir en dichos mercados. Esto se debe a que las políticas de comercio y las preferencias de los consumidores europeos priorizan productos que cumplen con altos estándares de sustentabilidad.

El presente estudio tiene como objetivo comparar estas dos iniciativas: el Pasaporte de Producto Europeo (PPE) y el uso de ecoetiquetas en el mercado europeo, analizando cómo la integración de ambas herramientas incide en la economía circular y en la transición hacia una matriz productiva más sostenible. Asimismo, se evalúa su posible aplicación en Argentina para mejorar la competitividad internacional de la producción nacional, alineándola con los estándares globales de sostenibilidad y fortaleciendo la presencia de productos argentinos en los mercados internacionales.

La metodología empleada consistirá en un análisis exhaustivo de la documentación existente sobre el tema. A partir de este análisis, se espera llegar a una conclusión que permita delinear futuras líneas de investigación y acción, con el objetivo de formular recomendaciones para fomentar la adopción de estas herramientas en productos argentinos con fines de exportación.

Palabras Claves: Pasaporte de Producto, Ecoetiquetas, Sostenibilidad, Economía Circular, Matriz Productiva Argentina.

ABSTRACT

In today's context of increasing environmental awareness, tools such as the Product Passport (PP) and eco-labels are essential to promote sustainable practices, boost the circular economy, and raise awareness among both producers and consumers toward more environmentally responsible behaviors.

These tools, already well-established in international markets such as Europe, have created barriers for products lacking sustainability certifications, as these face difficulties in competing within these markets. This is due to European trade policies and consumer preferences that prioritize products meeting high sustainability standards.

This study aims to compare these two initiatives—the European Product Passport (PPE) and the use of eco-labels in the European market—by analyzing how the integration of both tools impacts the circular economy and the transition toward a more sustainable production matrix. Additionally, their potential application in Argentina will be assessed to improve the international competitiveness of national production, aligning it with global sustainability standards and strengthening the presence of Argentine products in international markets.

The methodology employed will consist of an exhaustive analysis of existing documentation on the subject. Based on this analysis, the study aims to reach a conclusion that will outline future lines of research and action, with the objective of formulating recommendations to encourage the adoption of these tools in Argentine products intended for export.

Keywords: Product Passport, Eco-labels, Sustainability, Circular Economy, Argentine Productive Matrix.

1. INTRODUCCIÓN

En el contexto global actual, la creciente conciencia ambiental y la urgencia de adoptar prácticas sostenibles han incentivado el desarrollo de herramientas innovadoras para promover la economía circular y reducir el impacto ambiental. Dos de estas herramientas destacadas son las ecoetiquetas y el Pasaporte de Producto Europeo (PPE), iniciativas que, aunque comparten el objetivo de orientar hacia prácticas más responsables, difieren en su implementación y alcance (European Commission, 2020).

Las ecoetiquetas, ampliamente reconocidas en mercados internacionales, cumplen una función esencial al señalar a los consumidores aquellos productos que cumplen con ciertos estándares ambientales en su ciclo de vida. Ejemplos como la Etiqueta Ecológica de la UE y el Sello Azul Alemán facilitan la identificación de productos más ecológicos y han demostrado ser efectivos en guiar decisiones de compra responsables (European Environment Agency, 2021). En contraste, el Pasaporte de Producto Europeo (PPE), una herramienta más reciente desarrollada en el marco del Pacto Verde Europeo y el Plan de Acción para la Economía Circular, introduce un enfoque integral que abarca todo el ciclo de vida de un producto. Este pasaporte promete transformar la manera en que se evalúan y gestionan los productos, profundizando en su trazabilidad y sostenibilidad a lo largo de toda la cadena de valor (European Commission, 2019).

Este estudio se centra en la comparación entre el PPE y las ecoetiquetas, especialmente en el contexto europeo, analizando sus ventajas, desafíos y el impacto de cada uno en la sostenibilidad de los mercados. Además, busca explorar cómo la integración de ambas herramientas podría optimizar las prácticas sostenibles no solo en Europa, sino también en otros contextos internacionales.

Específicamente, este trabajo abordará las implicancias del PPE y las ecoetiquetas en la economía circular y en la transición hacia una matriz productiva más sostenible. Asimismo, analizará la viabilidad de aplicar estas herramientas en Argentina, evaluando cómo su adopción podría mejorar la competitividad internacional de la producción nacional al alinearla con los estándares globales de sostenibilidad. De esta forma, el problema de investigación se centra no solo en la comparación entre ecoetiquetas y el PPE en Europa, sino también en determinar cómo su integración impacta en la sostenibilidad y explorar su aplicabilidad en el contexto argentino para fortalecer la competitividad de sus productos en el mercado internacional.

Seguidamente el escrito presenta, primero, algunas definiciones básicas sobre economía circular y sostenibilidad así como los de ecoetiqueta y pasaporte del producto para luego seguir con la comparación de ambas herramientas y cómo fue su implementación en Europa, las ventajas y desafíos que se enfrentaron y los cambios en la matriz de producción. Por último, se aborda el tema de la importancia de la implementación de estas dos herramientas en pos de la competitividad internacional Argentina y su cambio en la matriz productiva. Se cierra este escrito con una breve conclusión relativa al tema tratado.

2. DESARROLLO

2.1 Economía Circular y Sostenibilidad

La economía circular se presenta como un modelo alternativo al sistema económico lineal tradicional basado en la secuencia de “tomar, hacer, desechar.” En lugar de extraer recursos y generar residuos tras el uso de los productos, la economía circular propone la creación de un ciclo de producción en el que los materiales y productos sean reutilizados, reciclados y recuperados al final de su vida útil. Este enfoque busca maximizar el valor de los recursos y reducir la dependencia de materias primas vírgenes, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y a la conservación de los ecosistemas (Ellen MacArthur Foundation, 2021). En este sentido, la economía circular se convierte en una herramienta clave para la sostenibilidad, ya que su implementación puede reducir significativamente el impacto ambiental y las emisiones de carbono, al tiempo que fomenta una utilización más racional y eficiente de los recursos.

En Europa, la economía circular es un pilar fundamental dentro de sus políticas ambientales y forma parte de su estrategia para lograr una economía sostenible y competitiva a largo plazo. Con iniciativas como el Pacto Verde Europeo y el Plan de Acción para la Economía Circular, la Unión Europea ha impulsado regulaciones que buscan transformar los sectores productivos, promoviendo que los productos se diseñen para ser más duraderos, reparables y reciclables (European Commission, 2019). Estas políticas pretenden reducir el impacto ambiental del consumo, pero también mejorar la

competitividad de las empresas europeas al prepararlas para cumplir con exigencias de sostenibilidad cada vez más estrictas en el mercado global.

A nivel global, otros países han comenzado a adoptar principios similares, reconociendo la importancia de la economía circular como un camino para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente el ODS 12, que promueve patrones de consumo y producción sostenibles (United Nations, 2015) Sin embargo, el desarrollo de políticas específicas de economía circular varía considerablemente entre regiones, y la Unión Europea se posiciona como líder en este ámbito, impulsando tanto regulaciones internas como acuerdos internacionales que favorecen la adopción de prácticas sostenibles en el comercio global.

En el caso de Argentina, aunque el concepto de economía circular ha ganado terreno en los últimos años, su implementación aún enfrenta desafíos significativos. Las políticas ambientales en el país han comenzado a reconocer la importancia de la economía circular, con iniciativas dirigidas a la gestión de residuos y la promoción de prácticas sostenibles en sectores como la agricultura y la industria (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022). No obstante, el avance hacia una economía circular en Argentina requiere de una mayor integración de políticas que incentiven tanto a las empresas como a los consumidores a adoptar prácticas sostenibles. Además, la economía circular podría fortalecer la competitividad de los productos argentinos en el mercado internacional, permitiendo que cumplan con los estándares ambientales cada vez más exigentes en regiones como Europa, donde los consumidores y las regulaciones demandan productos con menores huellas ambientales y un ciclo de vida prolongado.

El rol de las políticas ambientales es esencial para fomentar prácticas sostenibles y crear un entorno propicio para la economía circular. Tanto en Europa como en otros contextos, estas políticas no solo buscan reducir el impacto ambiental, sino también asegurar que las empresas puedan mantener su competitividad en mercados cada vez más regulados en términos de sostenibilidad. La creación de herramientas como el PPE y las ecoetiquetas responde a esta necesidad, facilitando a los productores la implementación de prácticas sostenibles y proporcionando a los consumidores información sobre el impacto ambiental de los productos. En el contexto argentino, adoptar políticas que respalden la economía circular y herramientas como el PPE y las ecoetiquetas podría ofrecer una ventaja competitiva a los productos nacionales en el mercado internacional, donde la sostenibilidad es un valor creciente.

2.2. Definición y Comparación: Ecoetiquetas y Pasaporte de Producto

Se han mensionado en los párrafos presedentes herramientas como las ecoetiquetas y el Pasaporte de Producto (PP) que son esenciales en el contexto de la economía circular y la sostenibilidad. Ambas facilitan la identificación y preferencia de productos con bajo impacto ambiental, promoviendo decisiones informadas entre los consumidores y permitiendo que los productores alineen sus productos con estándares de sostenibilidad (European Commission, 2020). Aunque tanto las ecoetiquetas como el PPE comparten la meta de fomentar una economía circular, cada herramienta tiene características y enfoques particulares que se detallarán a continuación.

Las ecoetiquetas son sellos o etiquetas que certifican que un producto cumple con ciertos estándares ambientales a lo largo de su ciclo de vida, desde la obtención de materias primas hasta su disposición final. Estas etiquetas se dividen en distintos tipos según la normativa de la Organización Internacional de Normalización (ISO): el Tipo I (etiquetas que aseguran una certificación independiente, como la Etiqueta Ecológica de la UE), el Tipo II (declaraciones ambientales del fabricante) y el Tipo III (etiquetas que proporcionan información ambiental cuantificada, sin una evaluación de valor intrínseco) (ISO, 2012). Las ecoetiquetas ayudan a los consumidores a identificar productos más ecológicos y, al mismo tiempo, presionan a los productores a adoptar prácticas sostenibles para cumplir con los requisitos de certificación (European Environment Agency, 2021).

Por otro lado, el Pasaporte de Producto Europeo (PPE) es una herramienta más reciente y abarca un enfoque integral. Como parte de la estrategia del Pacto Verde Europeo y del Plan de Acción para la Economía Circular, el PPE está diseñado para proporcionar información completa sobre la composición y el impacto ambiental de un producto a lo largo de su vida útil, promoviendo un uso más eficiente de los recursos y facilitando el reciclaje y la reutilización (European Commission, 2020). A diferencia de las ecoetiquetas, que se enfocan principalmente en la fase de compra, el PPE está diseñado para ser utilizado a lo largo de todo el ciclo de vida del producto, permitiendo a los distintos actores involucrados

en la cadena de valor, desde fabricantes hasta recicladores, acceder a información detallada que facilita la toma de decisiones orientadas a la economía circular.

Aunque tanto las ecoetiquetas como el PPE tienen como objetivo promover la sostenibilidad, presentan diferencias en su aplicación y alcance. Las ecoetiquetas tienden a ser más accesibles y están orientadas hacia el consumidor, ofreciendo una guía rápida sobre el impacto ambiental del producto en el momento de la compra. En cambio, el PPE tiene un enfoque más amplio, con el objetivo de servir a toda la cadena de valor del producto y facilitar una economía circular mediante la recopilación y el seguimiento de información detallada (European Commission, 2019).

Otra diferencia importante radica en la profundidad de la información proporcionada. Mientras que las ecoetiquetas indican que un producto cumple con ciertos estándares ambientales, el PPE incluye datos específicos sobre la composición y reciclabilidad del producto, así como su impacto en términos de emisiones y uso de recursos. Esta información permite tomar decisiones más informadas sobre la gestión del producto al final de su vida útil, fomentando la reducción de residuos y el uso de materiales reciclados (European Commission, 2019)..

En cuanto a las similitudes, ambas herramientas cumplen una función clave en la transformación de los mercados hacia modelos más sostenibles. Tanto las ecoetiquetas como el PPE ayudan a visibilizar el compromiso ambiental de los productos, lo que impulsa la competencia entre los productores para mejorar su desempeño ambiental. En Europa, esta competencia se traduce en una ventaja para los productos certificados, ya que los consumidores valoran cada vez más las credenciales ambientales al tomar decisiones de compra (European Environment Agency, 2021).

En el mercado europeo, las ecoetiquetas y el PPE se han implementado en una variedad de sectores productivos. Un ejemplo notable es la Etiqueta Ecológica de la UE, que certifica productos desde detergentes hasta dispositivos electrónicos, y establece que cumplen con estándares rigurosos en aspectos como el uso de materiales no tóxicos, eficiencia energética y minimización de residuos (European Commission, 2020). Este tipo de certificación ha permitido a los consumidores europeos identificar opciones de productos más sostenibles y ha promovido un cambio positivo en la industria al elevar los estándares ambientales.

El PPE, aún en sus primeras etapas de implementación, ha comenzado a aplicarse en sectores como la construcción y la tecnología, donde el seguimiento del impacto ambiental de los materiales es crucial para reducir el consumo de recursos y mejorar la eficiencia en el reciclaje. En el sector de la construcción, por ejemplo, el PPE permite a las empresas conocer la composición exacta de los materiales empleados en un edificio, lo cual es fundamental para su reciclaje y reutilización al final de la vida útil de la estructura (European Commission, 2020).

Con esto quedaría claro que, aunque las ecoetiquetas y el PPE tienen objetivos compartidos en términos de sostenibilidad, cada herramienta presenta enfoques y niveles de impacto distintos. Las ecoetiquetas se enfocan en facilitar decisiones de compra responsables, mientras que el PPE aborda el ciclo de vida completo del producto y permite una economía circular más robusta. La implementación y la combinación de ambas herramientas en el mercado europeo representan una estrategia avanzada para reducir el impacto ambiental y promover prácticas sostenibles, un enfoque que podría inspirar políticas en otras regiones, incluida Argentina.

2.3 Impacto del Pasaporte de Producto Europeo (PPE) y las Ecoetiquetas en Europa

En cuanto a la implementación de estas herramientas se puede decir que, han generado un cambio significativo en el mercado europeo, promoviendo una transición hacia modelos de producción y consumo más sostenibles y alineados con los principios de la economía circular. Estas iniciativas, impulsadas en el marco del Pacto Verde Europeo y del Plan de Acción para la Economía Circular, buscan reducir la dependencia de recursos no renovables, minimizar los residuos y fomentar la responsabilidad en toda la cadena de valor de los productos (European Commission, 2020).

El PPE es una herramienta diseñada para proporcionar información detallada y verificable sobre las características y la composición de un producto, facilitando su gestión en términos de reutilización, reciclaje y disposición final. El PPE se estructura de acuerdo con criterios de transparencia y trazabilidad, permitiendo que todos los actores involucrados en la cadena de suministro puedan acceder a información precisa sobre el impacto ambiental de cada componente (European Commission, 2020).

La regulación del PPE en Europa está respaldada por políticas estrictas, orientadas a que cada producto incluya datos específicos sobre su huella de carbono, uso de materiales reciclables y

contenido de sustancias peligrosas, entre otros. Estas regulaciones se sustentan en la Directiva de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos y en la Estrategia de Sostenibilidad para los Productos Químicos, que forman parte del marco de políticas ambientales europeas (European Environment Agency, 2021). La implementación del PPE implica la adaptación de los procesos industriales para cumplir con estos estándares, lo que ha impulsado una transformación en los sistemas de producción en Europa hacia prácticas más responsables y sostenibles.

Ventajas y Desafíos del PPE frente a las Ecoetiquetas: Si bien las ecoetiquetas y el PPE comparten el objetivo de fomentar la sostenibilidad, el PPE presenta ventajas adicionales en términos de alcance y profundidad de la información proporcionada. A diferencia de las ecoetiquetas, que se centran en señalar al consumidor que un producto cumple con ciertos estándares ecológicos, el PPE recopila información exhaustiva sobre todo el ciclo de vida del producto, incluyendo su composición y posibilidades de reciclaje (European Commission, 2019). Esto permite que el PPE sea útil no solo para consumidores finales, sino también para otros actores como recicladores, fabricantes y legisladores, quienes pueden utilizar la información del PPE para mejorar la eficiencia en el uso de recursos y reducir los residuos generados.

Sin embargo, la implementación del PPE también enfrenta desafíos significativos. La recopilación de datos detallados sobre la composición de cada producto implica un esfuerzo considerable por parte de los fabricantes, quienes deben adaptar sus sistemas para cumplir con los requisitos de trazabilidad y transparencia (European Commission, 2020). Además, la implementación del PPE requiere de una infraestructura digital avanzada que permita el almacenamiento y acceso de grandes volúmenes de datos de manera segura y confiable. Este reto técnico ha sido una barrera para algunas industrias, especialmente las pequeñas y medianas empresas que no siempre disponen de los recursos para adaptarse a estas normativas.

En cuanto a los cambios en la Matriz Productiva Europea, la transición hacia Procesos Sostenibles se puede decir que la adopción del PPE y las ecoetiquetas ha impulsado una transformación en la matriz productiva europea hacia modelos más sostenibles y responsables. Esta transición ha obligado a los sectores productivos a revisar sus procesos, enfocándose en la reducción de desperdicios, la eficiencia energética y el uso de materiales reciclables, lo cual es central para la economía circular. Según el European Environment Agency (2021), esta tendencia ha llevado a una reducción en la generación de residuos industriales y un aumento en el reciclaje de productos, alineándose con los objetivos de reducción de emisiones establecidos en el Pacto Verde Europeo.

Asimismo, la implementación del PPE y las ecoetiquetas ha promovido el uso de tecnologías limpias y la innovación en materiales ecológicos, fomentando un cambio hacia la producción responsable y sostenible. Las empresas que han adoptado el PPE, por ejemplo, han logrado optimizar sus cadenas de suministro, mejorando su eficiencia operativa y reduciendo costos a través de la reutilización de materiales y el reciclaje (European Commission, 2020). Esta transición hacia una economía circular no solo ha tenido un impacto positivo en la sostenibilidad ambiental, sino que también ha fortalecido la competitividad de las empresas europeas en el mercado global, al ofrecer productos con menores huellas de carbono y alineados con las expectativas de consumidores cada vez más conscientes de los aspectos ambientales.

Tanto el PPE como las ecoetiquetas han contribuido de manera significativa a la economía circular y la sostenibilidad en Europa, aunque cada herramienta presenta enfoques distintos. La integración de ambas permite a los productores y consumidores europeos tomar decisiones informadas que promueven un uso responsable de los recursos y reducen el impacto ambiental de sus actividades. Este enfoque podría servir como modelo para otras regiones, incluyendo Argentina, donde una adopción similar podría impulsar cambios en la matriz productiva, fomentar la innovación y mejorar la competitividad internacional en mercados cada vez más exigentes en términos de sostenibilidad.

2.4 Competitividad Internacional y Matriz Productiva Argentina

Como ya se viene sosteniendo en los apartados anteriores, en un mercado global cada vez más competitivo y consciente de la sostenibilidad, Estas dos las herramientas de certificación (el PPE y las ecoetiquetas) han surgido como mecanismos esenciales para garantizar que los productos cumplan con estándares medioambientales rigurosos. La adopción de estas herramientas permite que las empresas no solo demuestren su compromiso con la sostenibilidad, sino también accedan a mercados internacionales donde las normativas ambientales son cada vez más estrictas. Para Argentina, que se enfrenta al reto de competir en mercados con altos estándares, la implementación de certificaciones

ambientales podría ser una estrategia clave para fortalecer su posición en la economía global y mejorar la competitividad de sus productos (Chiaramonte, 2022).

Cabe aquí preguntarse: ¿qué relevancia tienen las herramientas de certificación para la competitividad en el mercado internacional? La certificación a través de ecoetiquetas y el PPE no solo mejora la reputación de una empresa en términos de sostenibilidad, sino que también le permite acceder a segmentos de mercado con consumidores más conscientes y dispuestos a pagar un premium por productos responsables. A nivel global, la certificación ambiental ha ganado relevancia como una herramienta para diferenciar productos, facilitar su ingreso a mercados extranjeros y cumplir con regulaciones que favorecen las prácticas sostenibles. En Europa, por ejemplo, la demanda de productos con ecoetiquetas o con el PPE ha aumentado en los últimos años, en parte debido a políticas como el Green Deal Europeo y el Plan de Acción para la Economía Circular, que priorizan los productos que contribuyen a reducir el impacto ambiental (European Commission, 2020).

Para Argentina, que enfrenta barreras en el acceso a estos mercados debido a las diferencias en los estándares de sostenibilidad, adoptar herramientas como las ecoetiquetas y el PPE podría ser fundamental. Alinear la producción argentina con las normas ambientales internacionales permitiría que sus productos sean competitivos en mercados de alto valor y cumplan con las exigencias de sostenibilidad que caracterizan a los países de la Unión Europea. Esto no solo abriría nuevas oportunidades comerciales, sino que también consolidaría la presencia de Argentina en sectores de alta demanda en economías desarrolladas (Chiaramonte, 2022).

Entonces, la implementación de las ecoetiquetas y del PPE en la matriz productiva argentina podría fortalecer el sector manufacturero y agroindustrial, que representan una parte significativa de las exportaciones del país. La adopción de estas certificaciones requiere un enfoque integral de sostenibilidad en todas las fases de la producción, lo que implica mejorar la eficiencia en el uso de recursos, reducir los residuos y optimizar la trazabilidad de los productos. Para sectores como el agroalimentario, esta adaptación podría abrir nuevas oportunidades de exportación hacia mercados con altas exigencias ambientales, generando un valor agregado para productos argentinos como la carne, los productos orgánicos y los derivados de la soja (Ciciliani & Martínez, 2021).

Con la adopción del PPE en Argentina se tendrían beneficios adicionales en la optimización de la cadena de suministro y la reducción de los costos asociados al desperdicio de materiales. Al fomentar una producción más eficiente y responsable, se incrementa la competitividad del país en un contexto internacional que demanda cada vez más productos con menor impacto ambiental. Esta transformación hacia procesos productivos más sostenibles también podría incentivar la inversión extranjera en sectores argentinos, particularmente de empresas interesadas en establecer operaciones en países que cumplen con los estándares internacionales de sostenibilidad.

No obstante, la adopción de estas herramientas de certificación en Argentina presenta desafíos significativos. Uno de los principales obstáculos es la falta de infraestructura tecnológica y logística para implementar sistemas de trazabilidad avanzada, lo cual es fundamental para el PPE. Las pequeñas y medianas empresas (PyMEs), que conforman una parte importante de la economía argentina, podrían tener dificultades para asumir los costos iniciales asociados a la certificación y adaptación de sus procesos productivos. Además, la ausencia de un marco regulatorio sólido en temas de sostenibilidad podría retrasar la adopción generalizada de estas prácticas en el país (González & Rojas, 2023).

A pesar de estas barreras, los beneficios potenciales superan las dificultades iniciales. La adopción de ecoetiquetas y del PP podría ofrecer una ventaja competitiva a los productos argentinos al permitirles acceder a mercados globales con una mayor exigencia en sostenibilidad, como el europeo. A largo plazo, la adopción de prácticas sostenibles contribuiría a posicionar a Argentina como un actor relevante en el comercio internacional de productos responsables. Además, esta transformación hacia una matriz productiva sostenible podría impulsar la economía circular en el país, fomentando la innovación en sectores estratégicos y promoviendo una transición hacia un modelo de desarrollo más resiliente y con menor impacto ambiental (Ciciliani & Martínez, 2021)

En definitiva, la implementación de estas herramientas (PP y ecoetiquetas) en Argentina representa una oportunidad para mejorar la competitividad y una importante adaptación a los cambios en la economía mundial. Aunque existen barreras en cuanto a infraestructura y costos, la alineación de los productos argentinos con los estándares internacionales de sostenibilidad fortalecería su posición en los mercados globales y promovería una transformación sostenible en su matriz productiva.

3. CONCLUSIÓN

La comparación entre las ecoetiquetas y el Pasaporte de Producto Europeo (PPE) resalta su impacto significativo en la economía circular y en la sostenibilidad del mercado europeo. Estas herramientas no solo han elevado los estándares de producción, sino que también han incentivado prácticas responsables que benefician tanto al medioambiente como a la competitividad de las empresas en un mercado global cada vez más orientado hacia el consumo consciente. Para Argentina, la implementación de estas herramientas representa una oportunidad estratégica para alinear su matriz productiva con los estándares internacionales de sostenibilidad, fortaleciendo así su presencia y competitividad en el mercado global.

Adoptar políticas de certificación y estandarización ambiental en Argentina no solo permitiría al país mejorar su acceso a mercados exigentes en términos de sostenibilidad, sino que también contribuiría a una transición hacia una economía más circular y sustentable. Sin embargo, es fundamental reconocer y abordar las barreras que podrían surgir, como la falta de incentivos y recursos específicos para pequeñas y medianas empresas. Políticas públicas que incluyan incentivos fiscales, subsidios para la adopción de prácticas sostenibles y programas de capacitación podrían facilitar este cambio. Sectores clave, como la industria alimentaria y textil, podrían beneficiarse inmediatamente de estos esfuerzos, promoviendo tanto su competitividad internacional como una producción más alineada con las demandas globales.

De cara al futuro, resulta crucial avanzar en estudios sectoriales en Argentina que identifiquen las áreas de mayor impacto y las mejores estrategias de implementación de estas certificaciones. Asimismo, investigaciones que evalúen la receptividad de los consumidores y el grado de adaptación de las empresas locales ofrecerían valiosas perspectivas para diseñar políticas efectivas. El compromiso con la sostenibilidad en Argentina debe reflejarse tanto en el ámbito productivo como en políticas integrales de concientización y adopción de estándares ambientales, de modo que el país pueda adaptarse de forma competitiva y sostenible al mercado internacional.

La integración de ecoetiquetas y del Pasaporte de Producto en Argentina no solo fortalecería la competitividad de la producción nacional, sino que también establecería un modelo de producción más responsable y en sintonía con los desafíos ambientales globales.

4. REFERENCIAS

Chiaramonte, P. (2022). Certificación ambiental y competitividad en el mercado global: Perspectivas para Argentina. *Revista de Economía Internacional 15(2)*, 45-63.

Ciciliani, A., & Martínez, L. (2021). Economía circular y sostenibilidad en el sector agroalimentario argentino. Estudios en Sostenibilidad, 9(3). 88-101.

Ellen MacArthur Foundation. (2021). *Circular Economy: The Transition to a Sustainable Future.* Obtenido de https://www.ellenmacarthurfoundation.org

Ellen MacArthur Foundation. (2021). *What is Circular Economy?* . Obtenido de https://ellenmacarthurfoundation.org/

Ellen MacArthur Foundation. (2022). The Product Passport: Building Transparency in a Circular Economy. Ellen MacArthur Foundation.

European Commission. (2019). *Circular Economy Action Plan*. Obtenido de https://ec.europa.eu/

European Commission. (2019). *The European Green Deal.* . Obtenido de https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en

European Commission. (2020). A New Circular Economy Action Plan For a Cleaner and More Competitive Europe. Union Europea: Publications Office of the European Union.

European Commission. (2020). *European Product Passport and Eco-labels*. Obtenido de https://ec.europa.eu/

European Commission. (2021). *Sustainable Products Initiative: Delivering the Green Deal*. Obtenido de https://ec.europa.eu/environment/eco-design-sustainable-products

European Environment Agency. (2021). *Eco-labels and Green Products: Consumers and Producers as Drivers of Environmental Progress*. Obtenido de https://www.eea.europa.eu/themes/sustainability-transitions/eco-labels

European Environment Agency. (2021). Environmental Labels and Certifications in Europe. Union Europea. Obtenido de 2021: European Environment Agency. (2021). Environmental Labels and Certifications in Europe. European Environment Agency..

European Environment Agency. (2021). *The Role of Eco-labels in Sustainable Consumer Behavior.* Obtenido de European Environment Agency. (2021). The Role of Eco-labels in Sustainable Consumer Behavior.

González, D., & Rojas, F. (2023). Desafíos en la implementación de la sostenibilidad en las PyMEs argentinas. *Journal of Environmental Management, 14(1)*, 72-89.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). *Informe sobre la Economía Circular en Argentina.* Buenos Aires: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

United Nations. (2015). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development.

"BUENAS PRÁCTICAS AMBIENTALES EN LA INDUSTRIA METALMECÁNICA: GESTIÓN DE VIRUTAS Y FLUIDOS DE CORTE"

Meretta Javier, Bárbaro Laura, García Tomás, Amori Abril.

Facultad Regional San Nicolás, Universidad Tecnológica Nacional
jmeretta@frsn.utn.edu.ar; lbarbaro@frsn.utn.edu.ar; tgarcia@frsn.utn.edu.ar; aabril@frsn.utn.edu.ar

RESUMEN

Las buenas prácticas ambientales en la industria metalmecánica son esenciales para minimizar el impacto ecológico y promover la sostenibilidad. Uno de los aspectos clave es la gestión adecuada de virutas y fluidos de corte, que son subproductos comunes en los procesos de mecanizado. La gestión eficaz de las virutas comienza con la segregación y el reciclaje. Las partículas metálicas deben separarse por tipo de metal y limpiarse para eliminar residuos de fluidos de corte, facilitando su reutilización o venta a recicladores. Esto no solo reduce la cantidad de desechos enviados a los vertederos, sino que también conserva los recursos naturales al permitir la recuperación de materiales valiosos. La correcta clasificación y manejo de los residuos líquidos, incluidos los aceites y emulsiones, es esencial para prevenir la contaminación del suelo y las aguas. Además, el uso de fluidos de corte biodegradables y menos tóxicos puede disminuir el impacto ambiental y mejorar las condiciones de trabajo.
El presente trabajo proporciona información parcial del avance de un proyecto de investigación sobre la difusión e institucionalización de Buenas Prácticas Ambientales (BPA), en industrias metalmecánicas de la región norte de la provincia de Buenos Aires y sur de Santa Fe. En este estudio se ha realizado un análisis de la literatura, normas e información obtenida mediante entrevistas en profundidad en una empresa y en dos talleres, que nos han permitido encontrar puntos comunes y contrastes.

Palabras Claves: Buenas Prácticas Ambientales, Fluidos de corte, industria metalmecánica, virutas, mecanizado.

ABSTRACT

Good environmental practices in metalworking industry are essential to minimize ecological impact and promote sustainability. One of the key aspects is the proper management of chips and cutting fluids, which are common byproducts in machining processes. Effective chip management starts with segregation and recycling. Metal particles must be separated by metal type and cleaned to remove cutting fluid residues, facilitating their reuse or sale to recyclers. This not only reduces the amount of waste sent to landfills, but also conserves natural resources by allowing the recovery of valuable materials. The correct classification and management of liquid waste, including oils and emulsions, is essential to prevent soil and water contamination. Additionally, the use of biodegradable and less toxic cutting fluids can reduce environmental impact and improve working conditions.

The present work provides partial information on the progress of a research project on the dissemination and institutionalization of Good Environmental Practices (GEP), in metal-mechanical industries in the northern region of the province of Buenos Aires and south of Santa Fe. In this study, carried out an analysis of the literature, standards and information obtained through in-depth interviews in a company and in two workshops, which have allowed us to find common points and contrasts.

Keywords: Good Environmental Practices, cutting fluid, metalworking industries, chips, machining.

1. INTRODUCCIÓN

En términos generales, el concepto de "buenas prácticas" puede entenderse como un conjunto de acciones o procesos que se guían por principios, objetivos y procedimientos adecuados, así como por pautas recomendadas que se alinean con una perspectiva normativa específica o con un conjunto de parámetros previamente acordados. Este concepto también abarca experiencias que han demostrado su eficacia y utilidad al generar resultados positivos en un contexto particular. Es relevante destacar la definición de Rieznik Lamana y Haja (2005), quienes describen las Buenas Prácticas como acciones o iniciativas que tienen repercusiones tangibles y medibles en la mejora de la calidad de vida de las personas y del medio ambiente de manera sostenible.

En el marco de las buenas prácticas ambientales dentro de la industria metalmecánica, este artículo se enfoca específicamente en la gestión de virutas y fluidos de corte, elementos clave para minimizar el impacto ambiental y optimizar la sostenibilidad operativa en los procesos productivos.

La gestión de fluidos de corte y virutas en la industria metalmecánica ha cobrado relevancia creciente debido a su impacto en la eficiencia operativa, los costos, y la sostenibilidad ambiental (Barriga Montalvo, 2015; Terradillos y Ciria, 2014). En un contexto global donde la sostenibilidad y la reducción de residuos industriales son prioridades, América Latina no es la excepción (Villegas Villaseñor y Ayala, 2022). En particular, en Argentina y otros países de la región, las industrias metalmecánicas enfrentan desafíos específicos en cuanto a la gestión de estos subproductos, dados los marcos regulatorios, las condiciones económicas y las características del mercado (ADIMRA, s/f).

En Argentina, por ejemplo, la industria metalmecánica es uno de los pilares del sector manufacturero, con una contribución significativa al PBI industrial, comprende más de 24.000 establecimientos productivos, distribuidos principalmente en las provincias de Buenos Aires, Córdoba, Santa Fe, Mendoza, Entre Ríos y San Luis. Las tres primeras concentran el 90 % del total de firmas del sector. La mayoría de estas empresas son pequeñas y medianas, de capital nacional, y se caracterizan por emplear, en promedio, hasta nueve personas, desempeñando un papel crucial en la agregación de valor en las economías regionales. No obstante, también operan en este sector empresas de mayor envergadura, con más de 50 empleados, todo según datos de la Asociación de Industriales Metalúrgicos de la República Argentina ADIMRA (2019).

En este contexto, la correcta gestión de los fluidos de corte y virutas es esencial no solo para minimizar el impacto ambiental, sino también para optimizar los costos operativos y cumplir con las regulaciones ambientales que se han endurecido en los últimos años.

2. DESARROLLO

La industria metalmecánica utiliza fluidos de corte en diversos procesos de mecanizado para lubricar y enfriar las herramientas, así como para facilitar la remoción de virutas. Estos fluidos, que pueden ser aceites, emulsiones o soluciones químicas, juegan un rol crucial en la eficiencia y precisión de los procesos de manufactura. El aporte funcional de los fluidos consiste en la remoción de viruta, aumento de la precisión dimensional y la terminación superficial, impide su corrosión, reduce el coeficiente de rozamiento viruta-herramienta y herramienta-pieza, y previene la soldadura entre viruta-herramienta. Estos fluidos, están contenidos frecuentemente en largos sistemas de recirculación y son bombeados continuamente a muchas operaciones de maquinado (L. Hernández & Quesada, 2002). Sin embargo, su manejo inadecuado puede resultar en problemas ambientales, como la contaminación del suelo y del agua, además de presentar riesgos para la salud de los trabajadores. Por otro lado, de acuerdo con Martinez Krahmer y López de Lacalle (2015), la utilización de fluidos de corte impacta en los costos de fabricación, especialmente en la producción de grandes series, donde puede llegar a representar entre un 7,5 % y un 17 % del costo total de fabricación. Puede acortar la vida útil de los filos de corte, como se ha comprobado experimentalmente, cuando se utiliza en combinación con herramientas de metal duro o materiales de alta calidad. Y puede reducir vida útil de las máquinas-herramienta cuando se emplean fluidos de corte emulsionables (a base de agua), lo que también genera mayores necesidades de mantenimiento. Surge así la necesidad de gestionarlos eficientemente y reducir su uso.

2.1. Utilización de fluidos de corte

La deformación plástica y el rozamiento son acciones mecánicas que se traducen en calor en un proceso de arranque de virutas, luego es necesario bajar la temperatura que genera un desgaste en el filo de las herramientas además de posibilitar la soldadura de la viruta. A tal fin, tradicionalmente se recurre a la utilización de fluidos de corte, que con su capacidad de lubricación disminuyen la fricción, y con la de refrigeración reducen la temperatura. La composición de los fluidos de corte se selecciona en función del objetivo principal de la operación, teniendo en cuenta que el aceite es el mejor lubricante,

mientras que el agua es el mejor refrigerante (Secretaria de Medio Ambiente del Ministerio de Aguas, Servicios Públicos y Medio Ambiente de la Provincia de Santa Fe, s/f).

La selección de los fluidos de corte puede darse en función del tipo de proceso, operación, material a mecanizar o material de la herramienta; resultando estos en una mezcla de aceites minerales de alta calidad y estabilidad, de diversas viscosidades, a los cuales se le agregan aditivos como: antiespumantes, antioxidantes, biosidas, inhibidores de la corrosión, aditivos máxima presión, entre otros (Andia Marrón, et al., 2021).

Los fluidos de corte pueden clasificarse en primer término en fluidos de corte aceitosos o aceites de corte, que son aceites puros usados en las operaciones de mecanizado. Están compuestos por una base de aceite mineral, sintético o vegetal, más una serie de aditivos para mejorar los aspectos específicos del rendimiento en la operación del mecanizado. En segundo término, en fluidos de corte acuosos (Emulsiones), también llamadas taladrinas. Estas se preparan mezclando el producto concentrado que suministra el fabricante consistente en un aceite base, emulsificantes y una serie de aditivos (antiespumantes, aditivos extrema presión, antioxidantes, biácidas, inhibidores de corrosión, entre otros) con agua. Los fluidos de corte acuosos pueden clasificarse, a su vez, en tres tipos: Emulsiones de aceite, que presentan un aspecto lechoso, es el más empleado y es especialmente adecuado para operaciones de mecanizado medio y ligero; con una vida media de dos a tres meses y son utilizados en aquellas operaciones en las que la función lubricante es prioritaria (Esteban et. Al., 2015). Emulsiones semi sintéticas, traslúcidas, que se vuelven opacas con el tiempo y son utilizadas en operaciones en las que la lubricación y refrigeración son importantes. El tercer grupo corresponde a las emulsiones sintéticas, cuyas funciones principales son la refrigeración y el control de corrosión.

2.2. Efectos perjudiciales de los fluidos de corte en los operarios

Las principales vías de exposición de los operarios a los aceites minerales son a través de la dermis y del sistema respiratorio. En el primer caso, cobra importancia la predisposición individual y la presencia de lesiones previas. En el segundo caso, los trabajadores que prestan servicios en las operaciones de mecanizado pueden estar expuestos a los aerosoles y nieblas de aceite procedentes de la disgregación, pirolisis y condensación de los aceites de corte y que a su vez pueden arrastrar partículas metálicas de las piezas mecanizadas. Así, pueden presentarse cuadros clínicos como disnea, insuficiencia respiratoria o dermatitis irritativa. Los efectos crónicos asociados pueden ser: foliculitis, queratosis, melanodermia, asma, bronquitis crónica, cáncer, entre otras enfermedades (Superintendencia de riesgos del trabajo, 2019).

Los fluidos de corte están contenidos frecuentemente en largos sistemas de Recirculación y son bombeados continuamente a muchas operaciones de maquinado. Dependiendo del tipo de máquina, cada una puede recibir una gran cantidad de litros por minuto. Por consiguiente, una parte del fluido es atomizado en gotas muy pequeñas, lo que trae como consecuencia una persistente niebla que contamina el aire (Ball, 1996). La generación de incluso una pequeña neblina puede convertirse en un serio problema debido a la casi continua alta actividad de producción. La neblina de aceite puede mantenerse suspendida en el aire por muchas horas y expandirse a grandes áreas de la planta. Los efectos negativos de la neblina incluye la disminución de la calidad del aire, la pérdida de seguridad, posibilidad de propagación del fuego a causa de una chispa y los problemas ambientales. La persistencia y concentración de la neblina de aceite en el aire de las plantas ha provocado una preocupación creciente en relación con la salud y la seguridad de los trabajadores (Superintendencia de riesgos del trabajo, 2019).

2.3. Minimización de impacto ambiental de fluidos de corte

Existen estrategias para minimizar el impacto de los fluidos de corte, en primer lugar se pueden mencionar aquellas destinadas a reducir o eliminar su uso. El mecanizado en seco permite la eliminación de uso de fluidos de corte mediante la selección de herramientas de corte con recubrimientos avanzados, como el nitruro de titanio (TiN) o el nitruro de aluminio y titanio (AlTiN), que ofrecen alta resistencia al desgaste y reducen la fricción durante el corte (Martinez Krahmer, López de Lacalle, 2015). Estas herramientas permiten operar a velocidades de corte más altas y con menor generación de calor, lo que es esencial para evitar el sobrecalentamiento de la pieza y la herramienta.

El mecanizado de alta velocidad (HSM, por sus siglas en inglés) es una técnica que implica operar a velocidades de corte significativamente mayores que las convencionales. Esta técnica no solo mejora la productividad, sino que también puede reducir la necesidad de fluidos de corte. A altas velocidades, el calor generado durante el corte tiende a concentrarse en las virutas que se expulsan rápidamente, minimizando la transferencia de calor a la herramienta y la pieza. El HSM es particularmente útil en la

mecanización de materiales duros o difíciles de cortar, como aleaciones de titanio y aceros endurecidos. Sin embargo, para implementar con éxito el HSM, es esencial contar con máquinas-herramienta de alta rigidez y precisión, así como con herramientas de corte específicamente diseñadas para resistir las altas temperaturas y las fuerzas generadas a estas velocidades.

Una tercera opción es el mecanizado asistido por aire comprimido, que utiliza un chorro de aire a alta presión y baja temperatura, en lugar de fluidos de corte para enfriar y limpiar la zona de trabajo. El aire comprimido ayuda a expulsar las virutas, manteniendo la herramienta y la pieza libres de obstrucciones y permitiendo un corte más eficiente. El aire comprimido proporciona un cierto nivel de enfriamiento sin los inconvenientes asociados con los fluidos de corte. Además, el aire comprimido es limpio y no genera residuos, lo que reduce la necesidad de tratamientos adicionales y minimiza el impacto ambiental. Para maximizar la efectividad del mecanizado asistido por aire comprimido, es fundamental utilizar boquillas de aire diseñadas para dirigir el flujo de manera precisa hacia la zona de corte. Esto asegura una remoción efectiva de las virutas y una disipación adecuada del calor, contribuyendo a la longevidad de la herramienta y a la calidad de la superficie mecanizada.

Recientes desarrollos van dirigidos a la disminución de la toxicidad de los fluidos de corte. La utilización de aceite de girasol o colza, en combinación con sistemas de consumo mínimo, son utilizados habitualmente en la industria europea (Martinez Krahmer, López de Lacalle, 2015).

Si no existe otra opción al uso de fluido de corte, se sugiere evitar las fugas, disminuir los derrames y arrastres que generan un mayor consumo. Tal como sugieren Martinez Krahmer y López de Lacalle (2015), los arrastres de fluidos en virutas y piezas pueden reducirse de manera significativa, al menos en un 25%, después de un drenaje de varias horas. El fluido de corte drenado puede reutilizarse, siempre y cuando se verifique su calidad. En el caso de utilizar aceites puros, los arrastres en las virutas son más elevados. Una centrifugación adecuada permite recuperar hasta el 90% del aceite contenido en las virutas. Además, se utiliza aire comprimido para soplar las piezas y disminuir el arrastre de fluidos. Otro punto que resaltan los autores es reducir la contaminación del fluido de corte con aceites, partículas sólidas y bacterias permitiendo su reutilización.

En la Figura 1 se puede observar el diagrama de flujo del fluido de corte que permite analizar su utilización y recuperación.

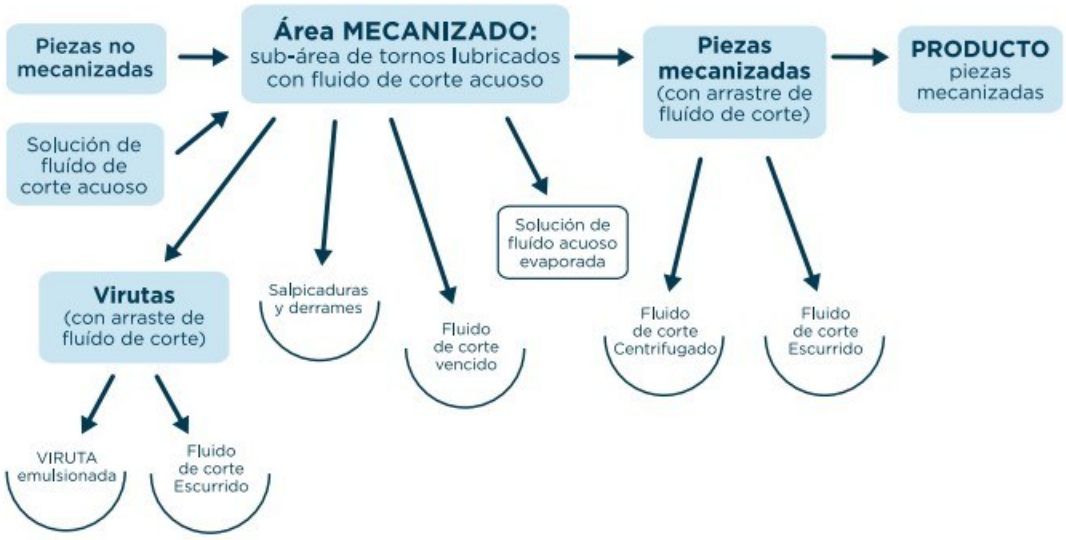


Figura 1. Diagrama de flujo de fluidos de corte. Fuente: Secretaria de ambiente y desarrollo sustentable (2019).

Una vez finalizado el ciclo de vida del fluido es necesario su tratamiento para la disposición final. Este tratamiento de aguas residuales generadas por fluidos de corte en la industria metalmecánica es crucial para mitigar su impacto ambiental y garantizar el cumplimiento de normativas de vertido, que en el caso de la provincia de Buenos Aires se encuentra regulado por la Ley Nº 11.720 de Residuos Especiales. Entre otros residuos peligrosos, regula a las mezclas y emulsiones de desecho de aceite y agua o de hidrocarburos y agua.

El proceso para tratar a estos residuos se divide en tres etapas: tratamiento primario, secundario y terciario, cada una de ellas enfocada en la eliminación progresiva de contaminantes (Chipasa, 2013). El tratamiento primario tiene como objetivo la separación inicial del aceite flotante y los sólidos en

suspensión del agua residual de fluidos de corte. Este proceso reduce la peligrosidad del agua tratada, facilitando su manejo y tratamiento posterior. El residuo separado, aunque más peligroso, se presenta en un volumen considerablemente menor, lo que simplifica su gestión (Chipasa, 2013).

En el tratamiento secundario, se enfoca en la separación del aceite emulsionado en las aguas residuales, utilizando técnicas como la utilización de agentes químicos para descomponer la emulsión en fases de aceite y agua. La evaporación mediante el calentamiento de las aguas residuales para expulsar el agua y concentrar el residuo peligroso. La ultrafiltración mediante la utilización de una membrana que permite el paso del agua, reteniendo el aceite y otros compuestos. O finalmente el tratamiento Biológico mediante la utilización de microorganismos para reducir la materia orgánica e inorgánica, aunque es un proceso más lento que los métodos físicos y químicos (Chipasa, 2013). Siguiendo lo aportado por el autor, el tratamiento terciario se encarga de depurar aún más las aguas residuales tratadas en las etapas anteriores, permitiendo la reutilización del agua. Las técnicas utilizadas incluyen osmosis inversa para separar el agua de la materia disuelta a través de una membrana, obteniendo un agua de alta pureza. Nano filtración, es similar a la ósmosis inversa, pero con membranas menos cerradas, operando a menor presión. Utilización de carbón activado que adsorbe los componentes disueltos restantes, permitiendo una alta reutilización del agua tratada, o la utilización de resinas de intercambio iónico que elimina sales metálicas disueltas, ácidos y bases. Estos tratamientos terciarios, especialmente la ósmosis inversa y el uso de carbón activado, son eficaces para producir agua con muy bajos niveles de contaminantes. Por otro lado, las resinas de intercambio iónico y la nano filtración son clave para eliminar iones metálicos, completando el proceso de depuración y facilitando la reutilización del agua tratada.

2.4 Gestión de virutas

La gestión de virutas en la industria metalmecánica es un aspecto crucial del proceso de manufactura, ya que estas pequeñas partículas metálicas, resultantes de operaciones como el fresado, el torneado o el taladrado, pueden tener un impacto significativo en la eficiencia, seguridad y sostenibilidad de la producción (Comisión Ambiental Metropolitana, 1997).

Una adecuada gestión de las virutas metálicas provenientes de los procesos de mecanizado no solo puede mitigar el impacto ambiental de estos procesos, sino también representar una nueva fuente de ingresos. Es esencial cambiar la perspectiva y considerar las virutas no como un residuo, sino como un subproducto valioso.

Estas pequeñas astillas de metal, desprendidas durante el mecanizado, presentan formas y tamaños que varían según el tipo de material y la herramienta de corte utilizada (Albán Ruiz et al., 2021). Este subproducto lleva consigo una cantidad variable de fluido de corte que impregna su superficie o se acumula en los intersticios de su estructura, lo que requiere procesos de escurrido o centrifugado. Estas acciones pueden llevarse a cabo en tanques de decantación, mediante separación magnética, o a través de la filtración en diferentes tipos de tamices.

Los aspectos clave en la gestión de virutas incluyen la recuperación y reciclaje de materiales, la mitigación de riesgos y mejora en el mantenimiento de equipos mediante la prevención de la acumulación de virutas, la reducción del impacto ambiental y la generación de ingresos potenciales a través de su venta.

3 EXPERIENCIA DE CAMPO

En el marco de este estudio, se llevó a cabo un análisis comparativo a través de visitas a una empresa de gran envergadura y dos talleres metalmecánicos de menor tamaño. El objetivo principal fue observar y evaluar las prácticas empleadas en la gestión de fluidos de corte y residuos generados durante los procesos de mecanizado. La experiencia de campo permitió identificar las diferencias en la implementación de buenas prácticas ambientales entre empresas de diferentes dimensiones, así como los desafíos y oportunidades específicas que enfrentan en la adopción de tecnologías y procesos sostenibles. Durante las visitas, se realizaron entrevistas con personal clave y se observaron *in situ* los métodos de gestión de fluidos y residuos. Este apartado presenta un resumen de las principales observaciones y hallazgos, que servirán como base para la discusión de las mejores prácticas y recomendaciones en el ámbito de la industria metalmecánica.

La empresa visitada, que se dedica, entre otros productos, a la fabricación de tubos conformados con costura, originalmente utilizaba una emulsión de aceite semisintético en su proceso productivo. Sin

embargo, debido a problemas de crecimiento de bacterias y mal olor cuando la emulsión permanecía inactiva, la empresa decidió cambiar a un aceite sintético. Se observó que la empresa cuenta con un sistema de recirculado de fluidos de corte, que incluye canaletas para recolectar la emulsión usada, un pozo con agitador para mantener la emulsión activa, un filtro magnético para separar partículas metálicas de mayor tamaño, un filtro de papel para eliminar barros, un enfriador de placas para controlar la temperatura y tanques para almacenar y reutilizar la emulsión. La temperatura de la emulsión se controla a través del enfriador de placas, y se agregan aditivos antiespumantes para mejorar su eficiencia. Además, se realizan controles periódicos para asegurarse de que el porcentaje de aceite en la emulsión sea el recomendado por el proveedor para cada proceso específico.

El principal problema que la empresa busca evitar es la corrosión, ya que han experimentado casos anteriores con otros aceites y aditivos que generaban la separación del agua, acumulando humedad en partes metálicas, lo que provocaba corrosión. El porcentaje de aceite en la emulsión y el tamaño de su burbuja en la emulsión son factores críticos en la prevención de la corrosión, ya que una mayor exposición al agua aumenta el riesgo de corrosión en el metal procesado.

Se realizó un contraste con talleres pequeños que poseen un número reducido de máquinas para mecanizado, donde el tratamiento de los fluidos de corte y las virutas es notablemente distinto. En estos talleres, el fluido de corte se recircula con menos control y, cuando no se utiliza, se almacena en bateas donde el agua se evapora y el aceite se desecha o es retirado periódicamente por un intermediario que lo vende a chatarrerías. La viruta, independientemente de su tamaño, se mezcla y se almacena en contenedores pequeños para ser retirada por este mismo intermediario, esta operación no representa costo ni erogación para el taller.

Por otro lado, la empresa grande tiene un sistema de recirculado de fluidos de corte más avanzado, donde la emulsión se recircula y es controlada periódicamente su temperatura y composición. Cuando esta llega al final de su vida útil, se almacena en una pileta y es retirada por una empresa especializada en el tratamiento y disposición final de estos fluidos, según lo estipulado por la Ley Nº 11.720 de Residuos Especiales . En cuanto a la viruta, se clasifica en dos tamaños: viruta grande, que se deposita en contenedores y se vende como chatarra para la fabricación de acero, y viruta pequeña (laminilla y barros), que se almacena en contenedores donde se escurre el aceite y luego se vende como subproducto a otras empresas, como la industria cementera.

4 CONCLUSIONES

En el contexto actual, la gestión eficiente de los fluidos de corte y las virutas en la industria metalmecánica no solo representa un desafío operativo, sino también una oportunidad para avanzar hacia prácticas más sostenibles y alineadas con las crecientes exigencias regulatorias y de responsabilidad ambiental. Este estudio ha puesto en relieve que las empresas que implementan buenas prácticas en la gestión de estos subproductos no solo logran minimizar su impacto ambiental, sino que también pueden optimizar sus costos operativos, prolongar la vida útil de sus equipos y mejorar la seguridad y salud de sus trabajadores.

Las diferencias observadas entre las prácticas de grandes empresas y talleres pequeños revelan la necesidad de adaptar las estrategias de gestión a la escala y capacidad de cada entidad, pero también subrayan la importancia de la sensibilización y formación en todos los niveles de la industria. Las tecnologías emergentes, como el mecanizado en seco y el uso de herramientas avanzadas, ofrecen alternativas viables para reducir o eliminar el uso de fluidos de corte, mientras que la correcta clasificación y tratamiento de las virutas permiten su aprovechamiento como subproductos valiosos. El contraste entre considerar un material como residuo o como subproducto es fundamental para la organización, ya que implica un enfoque diferente en la gestión de recursos.

En conclusión, el camino hacia una gestión sostenible de los fluidos de corte y las virutas en la industria metalmecánica exige un enfoque integrado que combine innovación tecnológica, adaptación a las mejores prácticas y un fuerte compromiso con la sostenibilidad. Solo mediante un esfuerzo coordinado entre las empresas, los reguladores y los actores del mercado se podrán alcanzar un equilibrio entre la eficiencia operativa y la protección del medio ambiente, contribuyendo así al desarrollo industrial sostenible en Argentina y la región.

5 REFERENCIAS

ADIMRA, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. (2019) “Guía para una producción sustentable: sector metalmecánico”. - 1a edición.

ADIMRA (s/f) “Recomendaciones sobre fluidos de corte y virutas en la industria metalúrgica”.

Albán Ruiz, D. y Guamán Peñafiel, P. (2021) “Estudio del efecto de los líquidos iónicos (BMIMBF4) y (BMIMPF6) como aditivos en el aceite vegetal para el sistema de mínima cantidad de lubricante (MQL) en la vida útil de las herramientas de corte de metal duro y acabado superficial en el proceso de torneado del acero inoxidable AISI 304 y acero AISI/SAE 4140” https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/33256

Andia Marron, T. A., Crispín Mendoza, A. F., & Baez Quispe, G. D. (2021). Evaluación del efecto del proceso de coagulacionfloculacion en la reduccion de la dqo de aguas residuales de fluidos de corte de la industria metal-mecanica. https://hdl.handle.net/20.500.12952/6794

Ball. A. (1996). “Estudio de la neblina de fluidos para trabajar metales en plantas de fabricación. Ingeniería de lubricación”, 53(9):18-22.

Barriga Montalvo, G. (2015). “Remocion de Metales Pesados de Efluentes Industriales del Sector Metal-Mecanico Utilizando un Consorcio Bacteriano Nativo“ https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/3418

Chipasa, K. (2013). “Best practice guide for the disposal of water-mix metalworking fluids”. In *United Kingdom Lubricants Association [UKLA]*. https://www.ukla.org.uk/wp-content/uploads/UKLA-PERA-Best-Practice-Guide-for-the-Disposal-of-Water-mix-Metalworking-Fluids.pdf

Comisión Ambiental Metropolitana en Colaboración con la Sociedad Alemana de Cooperación Técnica. (1997) “Manual de Minimización, tratamiento y disposición. Metalmecánica”. (GTZ TÜV ARGE-MEX). www.ingenieroambiental.com/4017/manual%20de%20residuos%20peligrosos.pdf

Esteban, M. M., Díaz Álvarez, A., Díaz Álvarez, J., & Cantero Guisández, José. Luis Miguélez Garrido, M. H. (2015). “Capítulo 5: Conformación por arranque de viruta”. http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/tecnologia- mecanica/material-de-clase-1/ocw-apitulo5.pdf

Hernández, L., & Quesada, A. (2002). “Fluidos de corte, consecuencias y perspectivas”. Ciencias Holguín, 8(3)

Krahmer, Daniel & Lacalle, Luis. (2015). “Algunas alternativas para reducir el empleo de fluidos de corte en los procesos por arranque de viruta”.

Ley Nº 11.720 de la provincia de Buenos Aires, Ley de Residuos Especiales. https://www.ambiente.gba.gob.ar/sites/default/files/LEY%2011720.pdf

Rieznik Lamana N. y Hernandez Aja A. (2005) “Buenas Prácticas”, Madrid (España), Julio De 2005.

Secretaría de Desarrollo Sustentable (2019) “Guías de innovación para una producción sustentable: Estrategias y metodologías para la reducción de residuos. Ejemplos de aplicación”.

Secretaria de Medio Ambiente del Ministerio de Aguas, Servicios Públicos y Medio Ambiente de la Provincia de Santa Fe, Consorcio Parque Industrial Alvear, Asociación de Industriales Metalúrgicos de Rosario y el Centro Tecnológico José Censabella. (s/f) “Guía de Buenas Prácticas Ambientales. Mecanizado con arranque de viruta”. www.adimra.org.ar/download.do?id=1076

Superintendencia de Riesgos del Trabajo (2019) “Guía de actuación y diagnóstico de enfermedades profesionales. Aceites no tratados”. www.argentina.gob.ar/sites/default/files/14.1_guia_aceites_no_tratados.pdf

Terradillos, J., Ciria, J. I. (2014) “Pasado, presente y futuro de la lubricación”. Lubrication Management. https://lubrication-management.com/wp-content/uploads/sites/3/2014/07/Evoluci%C3%B3n_Lubricaci%C3%B3n_ES.pdf

Villegas Villaseñor, A. y Ayala, A. (2022) “Impulsar e Incorporar Diseño Sustentable en el proceso de Diseño Mecánico”. XXVIII Congreso Internacional Anual de la SOMIM. VI Congreso Internacional de Energía y Desarrollo Sostenible. VII Simposio Internacional de Ingeniería Industrial. https://somim.org.mx/memorias/memorias2022/articulos/A5_165.pdf

"ANÁLISIS PRELIMINAR DE REFUNCIONALIZACIÓN DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS EN LA PROVINCIA DE CÓRDOBA"

Bonillo, Paula Lorena; Reyna, Santiago María; Bartoli Ríos, Valentina; Gióvine, Luis; Reyna, Teresa María; Lábaque, María; Morello, Agostina Lidia; Bonini, Agustina

Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina
paula.bonillo@mi.unc.edu.ar; santiago.reyna@unc.edu.ar;

RESUMEN

Para la provincia de Córdoba es de particular interés el considerar a los sistemas de turbinado-bombeo para almacenar energía a gran escala y poder integrarse a otras energías renovables. Esto es posible por la presencia de buenos cierres, vasos y desniveles de importancia dados por la cercanía de la zona serrana, muy especial, llamada Sierras Pampeanas.
En este artículo se aplican los principales factores que condicionan la posible refuncionalización, adaptando la obra civil, de centrales hidroeléctricas convencionales a sistemas reversibles de turbinado-bombeo. Estos factores son los criterios en un proceso de "filtrado" sobre los aprovechamientos hidráulicos de la provincia de Córdoba, obteniendo de esta manera un panorama preliminar sobre qué centrales sería prefactible, técnica y económicamente, plantear una refuncionalización.
Se definieron dos factores principales a considerar para estas posibles refuncionalizaciones: los relacionados con la obra civil y los relacionados al diseño de la central, electromecánicos. El hecho de que las centrales ya cuenten con un embalse aguas arriba y otro aguas abajo fue un criterio excluyente al inicio de la selección, ya que aunque se cuente con un vaso factible para la construcción de un embalse, el territorio ya se encuentra en gran parte siendo ocupado con otros usos del suelo, además de encarecer ampliamente el proyecto.
A partir del análisis realizado se obtuvo como resultado que las centrales Cassaffousth, Reolín, Los Molinos I, La Viña y Fitz Simons son las que a priori presentan condiciones más favorables para ser refuncionalizadas.

Palabras Claves: Hidroelectricidad, Centrales Reversibles, Refuncionalización, Turbinado-bombeo, Energías Renovables

ABSTRACT

For the province of Cordoba it is of particular interest to consider turbine-pumped systems to store energy on a large scale and to be able to integrate with other renewable energies. This is possible due to the presence of good closures, reservoirs and important slopes due to the proximity of the very special mountainous area called Sierras Pampeanas.
This article applies the main factors that condition the possible refunctionalization, adapting the civil works of conventional hydroelectric power plants to reversible pumped-turbine systems. These factors are the criteria in a process of "filtering" on the hydraulic exploitations of the province of Cordoba, obtaining in this way a preliminary panorama on which plants it would be technically and economically pre-easible to consider a refunctionalization.
Two main factors to be considered for these possible refunctionalizations were defined: those related to the civil works and those related to the electromechanical design of the power plant. The fact that the plants already have an upstream and a downstream reservoir was an excluding criterion at the beginning of the selection process, since even if there is a feasible reservoir for the construction of a reservoir, the territory is already largely occupied by other land uses, in addition to making the project much more expensive.
The analysis showed that the Cassaffousth, Reolín, Los Molinos I, La Viña and Fitz Simons plants are the ones that a priori present the most favorable conditions for refunctionalization.

Keywords: Hydroelectricity, Reversible Power Plants, Refunctionalization, Turbine-pumping, Renewable Energies.

1. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda energética y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, plantean desafíos para asegurar un suministro de energía sostenible y confiable en el futuro. En este contexto, la búsqueda de fuentes de energía alternativas y respetuosas con el medio ambiente se ha convertido en una prioridad global.

La energía hidráulica cobra relevancia debido a que permite generar electricidad de manera sostenible y eficiente. Este tipo de energía se obtiene al aprovechar el flujo natural del agua, ya sea a través de la construcción de presas y embalses para generar electricidad a partir de la caída del agua, o mediante el uso de corrientes y mareas para impulsar turbinas. En la actualidad, esta área cuenta con tecnologías maduras, con muy buenos rendimientos y con una producción relativamente predecible. La energía hidroeléctrica de almacenamiento por bombeo es un uso modificado de la tecnología hidroeléctrica convencional para almacenar y gestionar la energía. Las centrales reversibles utilizan la electricidad para almacenar la energía potencial moviendo el volumen, llamado de entretenimiento, entre un embalse superior y otro inferior. El bombeo del agua al embalse superior para su almacenamiento temporal acumula la energía durante las horas de menor consumo eléctrico o exceso de energía proveniente de otras fuentes. Mientras que, durante los períodos de alta demanda de electricidad, el agua almacenada se descarga a través de las turbinas y se convierte de nuevo en electricidad a través de los generadores, tal como una central hidroeléctrica convencional. La energía almacenada es proporcional al volumen de agua almacenado en el reservorio superior y la diferencia de altura entre los reservorios (Saravia et al., 2022).

El desarrollo de la energía hidroeléctrica por bombeo en Latinoamérica es aún incipiente, aunque existan plantas de este tipo desde 1935 en Brasil (Pedreira, 78,5 MW). Y, desde 1986, en Argentina (Río Grande de 750 MW y Los Reyunos de 224 MW), las que en conjunto alcanzan cerca de 1 GW instalado, lo que representa solo el 1% de la capacidad de almacenamiento mundial (DOE, 2020).

La provincia de Córdoba está ubicada en el centro de la República Argentina y es la segunda provincia del país en cantidad de habitantes. Esta provincia fue pionera en el aprovechamiento de la energía hidráulica; quedando aún hoy los restos de los tajamares, sus batanes y molinos construidos por los Jesuitas en el año 1616 para hacer uso de la energía mecánica del agua (Reyna et al., 2023). También podemos encontrar la primera central hidroeléctrica de 1897 (usina Bamba) pionera por su tipo en Sudamérica.

Aunque los ríos de la provincia son poco caudalosos, las características morfológicas de sus cuencas hicieron de estos una relevante fuente energética; recurso que la provincia aprovecha intensamente. El recurso hídrico con potencial hidroeléctrico disponible actualmente en la región se encuentra casi al límite de su aprovechamiento, si el mismo se piensa de manera tradicional con grandes embalses y centrales al pie. Desde hace ya unos años en la provincia la potencia disponible en el mercado eléctrico es menor a la demanda eléctrica pico. La población rural es cercana al 11 % de la población de la provincia y una cantidad considerable de esta se encuentra en zonas aisladas. Además, parte de la población rural no se encuentra conectada al sistema de distribución eléctrica. Esta situación lleva a seguir planteando nuevas líneas para continuar con el desarrollo de la Energía Hidroeléctrica en Córdoba.

Para la provincia de Córdoba es de particular interés el considerar a los sistemas de turbinado-bombeo para almacenar energía a gran escala y poder integrarse a otras energías renovables. Esto se da por la cercanía de la zona serrana, aspecto geográfico muy especial, llamada de Sierras Pampeanas, donde se dan a la vez buenos cierres y vasos y desniveles de importancia. En estudios anteriores, se consideró posible pensar en refuncionalizar las centrales y adaptar la obra civil de los aprovechamientos sobre los ríos Xanaes, Ctalamochita y Los Sauces, transformándolos en sistemas mixtos (Reyna et al., 2013). Siguiendo en esta línea es que se aplican los principales factores que condicionan la posible refuncionalización de centrales hidroeléctricas convencionales a sistemas reversibles. Estos factores son los criterios en un proceso de “filtrado” sobre los aprovechamientos hidráulicos de la provincia, obteniendo de esta manera un panorama preliminar sobre qué centrales sería prefactible, técnica y económicamente, plantear una refuncionalización.

2. OBJETIVOS

Este trabajo busca aportar al impulso de desarrollo de la energía hidráulica en la provincia de Córdoba, al estudiar la prefactibilidad de plantear sistemas reversibles como elementos de almacenamiento de energía.

Los objetivos pueden generalizarse en los siguientes:

- Definir los criterios que se tendrán en cuenta para seleccionar qué centrales hidroeléctricas podrían ser refuncionalizadas como reversibles.
- Recopilar y describir las principales centrales hidroeléctricas presentes en la provincia de Córdoba.
- Valorar la idoneidad para ser refuncionalizadas las centrales que cuentan con los criterios establecidos.
- Contribuir al conocimiento científico y a la toma de decisiones en materia de políticas energéticas y ambientales en la región.

3. METODOLOGÍA

La metodología consiste en primera instancia en una revisión bibliográfica en torno a centrales de turbinado y bombeo, con la finalidad de establecer una serie de criterios a evaluar en centrales existentes para que estas sean refuncionalizadas.

En términos generales, el trabajo se estructura de la siguiente manera:

- Se describen las principales centrales existentes en la provincia.
- Se definen los criterios para evaluar las centrales analizadas.
- Se filtran las centrales que cuenten con la obra civil y electromecánica apropiadas.
- Se valora la idoneidad de los aprovechamientos a ser refuncionalizados.

4. CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA

La provincia de Córdoba fue pionera en la región en generación de hidroelectricidad. La construcción del dique San Roque (el más antiguo de los embalses de tipo moderno en Latinoamérica) ya posibilitó un primer aprovechamiento hidroeléctrico. Es así que la regulación del caudal del río Primero (o Suquía) permitió el desarrollo de la producción de la energía eléctrica del propio curso, construyéndose las usinas Molet, Casa Bamba y Calera (Bustamante, 2014).

Actualmente, la provincia cuenta con diez centrales hidráulicas y una central hidroeléctrica de turbinado bombeo (Río Grande). En la Tabla 1 se listan estas centrales, el río que las alimenta, tipo de turbina instalada y su antigüedad. En la Figura 1 se exhibe la ubicación de las centrales en la provincia.

Tabla 1: Centrales hidroeléctricas de la provincia de Córdoba

Central	Río	Antigüedad	Tipo de turbina
Cruz del Eje	Cruz del Eje	1958	Francis
San Roque	Suquía	1959	Francis
La Calera	Suquía	1911	Francis
La Viña	Los Sauces	1958	Francis
Los Molinos I	Xanaes	1957	Francis
Los Molinos II	Los Molinos	1958	Kaplan
Río Grande	Río Grande	1986	Turbinado-bombeo
Fitz Simon	Ctalamochita	1943	Francis
Cassaffousth	Ctalamochita	1953	Francis
Reolín	Ctalamochita	1966	Francis
Piedras Moras	Ctalamochita	1995	Kaplan

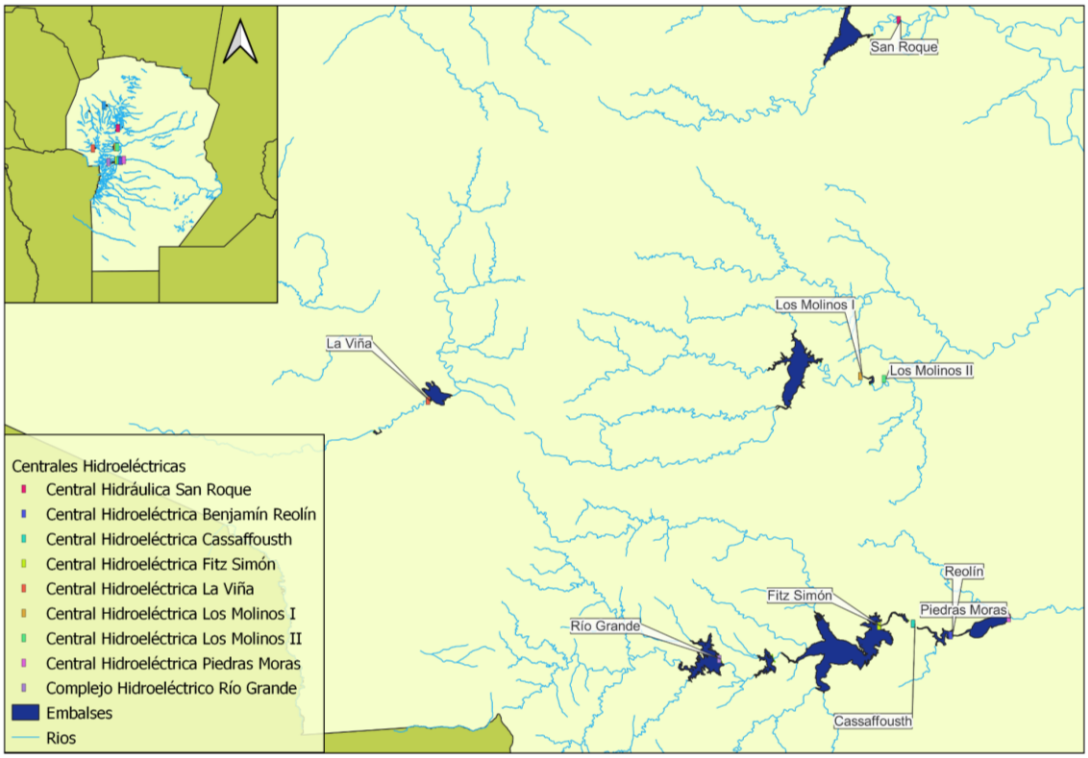


Figura 1: Embalses y centrales de la provincia de Córdoba. Fuente: Elaboración propia en base a datos de IDECOR.

5. CRITERIOS PARA REFUNCIONALIZAR UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

Los criterios considerados para analizar la viabilidad de refuncionalizar una central hidroeléctrica fueron adaptados a partir de la revisión de distintos trabajos que abordan situaciones análogas. Estos criterios están vinculados con la posibilidad de poder adaptar la obra civil y electromecánica a la nueva condición de turbinado-bombeo. A continuación, se detallan los aspectos considerados.

5.1 Factores asociados a la obra civil

La existencia de embalses ya construidos implica la posibilidad de que el proyecto pueda llevarse a cabo originando mínimos impactos ambientales (el ecosistema ya ha sido intervenido), además de un menor costo de inversión para llevarlo adelante.

- Embalse aguas arriba: Un punto de partida importante es definir si la central es de embalse o pasada. En el primer caso, la central posee un embalse para la generación, lo que resultaría muy provechoso al plantear la refuncionalización. Por otro lado, las centrales de pasada no presentan embalse, solamente una obra de toma sin volumen de regulación. Es de destacar sobre este punto que todas las centrales analizadas cuentan con un embalse de almacenamiento.

- Embalse aguas abajo: Las centrales reversibles deben contar con un depósito de agua inferior con capacidad para almacenar el volumen de entretenimiento. Se debe identificar las centrales hidroeléctricas que cuentan con un embalse aguas abajo de capacidad suficiente para almacenar dicho volumen. Por otra parte, sobre las centrales que no lo poseen, puede evaluarse la viabilidad de construirlo. Para que esto sea posible debe existir un cierre y un vaso que permitan su implantación y no debe superponerse con otro uso del suelo, por ejemplo, de urbanización.

- Chimenea de equilibrio: La chimenea de equilibrio juega un papel fundamental para proteger la turbina y el sistema hidráulico de los efectos dañinos del golpe de ariete. La chimenea de equilibrio, transforma la energía cinética del agua de la galería en energía potencial, como consecuencia de la sobreelevación del nivel del agua en el pozo o cámara, frenando el agua en aquella y reduciendo drásticamente los incrementos de presión que de otra manera se habrían producido como consecuencia del cambio brusco del caudal circulante (Cuesta y

Vallarino, 2000). La decisión de instalar una chimenea de equilibrio y su diseño adecuado debe tomarse caso por caso, considerando las características específicas de la instalación y las condiciones del terreno.

- Cercanía a las líneas de transmisión: La ubicación estratégica de la central cerca de líneas de transmisión existentes optimiza los recursos disponibles, reduce costos de construcción y operación, y facilita la integración de la energía generada a la red eléctrica nacional. Debido a que los aprovechamientos analizados en este trabajo ya se encuentran generando energía, estaría asegurada la presencia de esta variable.

- Vías de acceso disponible: Las vías de acceso facilitan el transporte de personal, equipos y materiales, lo que es esencial para las operaciones diarias y el mantenimiento de la central. Su existencia previa radica en la reducción de costos al momento de su construcción. Al igual que el factor anterior, las centrales construidas ya cuentan con vías de acceso.

5.2 Factores asociados al diseño de la central

- Tipo de turbina y años de operación: En algunas ocasiones existen centrales que cuentan con grupos posibles de funcionar como reversibles, binarios de tipo centrífugo (Francis), que podrían ser adaptados para trabajar como bomba y como turbina (estos grupos están integrados por un alternador-motor y una turbina-bomba conectados rígidamente en un mismo eje). En estos casos, podría lograrse una disposición que representa una notable simplificación en las conducciones hidráulicas de alimentación y descarga, asociada a un ahorro considerable en el coste de instalación global, y a una reducción significativa del espacio ocupado (Cuesta Diego y Vallarino Cánovas del Castillo, 2000). Así, existiría la posibilidad de poder mantener, en su totalidad o parcialmente, el grupo electromecánico dependiendo del estado de las máquinas, ensamblaje, tamaño y potencia que tengan.
  Si en la central estudiada no se cuenta con grupos con posibilidad de ser adaptados para trabajar como reversibles binarios, deja de ser relevante el tipo de turbina actual como factor para la selección, ya que habrá necesidad de reemplazarlo por un sistema que utilice una turbina reversible o la opción de colocar en un mismo eje dos máquinas diferentes, una bomba y una turbina.
  En el caso de estudio de la provincia de Córdoba, todas las turbinas instaladas en la actualidad están llegando al final de su vida útil o se han vuelto obsoletas porque hay nuevas tecnologías a considerar en todos los aspectos electromecánicos. Hasta ahora ninguna máquina fue reemplazada desde su instalación en los años 50-60s y solo han tenido un mantenimiento escaso de cojinetes, rodetes con cavitación, tableros eléctricos, etc. Por lo que el cambio total o parcial del grupo generador (y sistemas de operación, protección, regulación y maniobra), muy probablemente deberá realizarse necesariamente en las centrales analizadas.

- Propósitos del embalse: Las centrales asociadas a un embalse multipropósito están sometidas por lo general a limitaciones en el desagüe de caudales o a niveles de embalse impuestos por otros usos de carácter prioritario como: riegos, abastecimiento o control de avenidas. Estos condicionamientos limitan la potencia garantizada que se podría obtener del embalse (Cuesta Diego y Vallarino Cánovas del Castillo, 2000). Por este motivo es fundamental considerar la capacidad de regulación del embalse, asimismo es de destacar que el volumen de entretenimiento suele ser pequeño respecto de otros usos.

- Potencia entregada actualmente: Si bien la potencia instalada representa la capacidad máxima de una central eléctrica para generar y entregar energía, esta no siempre es alcanzada. Es por esto que se identifica el porcentaje de potencia que entrega efectivamente la central en relación a su potencia instalada. Una central que genera poco en relación con su capacidad puede implicar una oportunidad de mejora en su capacidad al momento de refuncionalizarla.

- Forma de operación: Tiene en cuenta el porcentaje de tiempo que se mantiene operando la central. Las centrales hidroeléctricas que presentan un porcentaje mínimo son utilizadas solo en horas punta, mientras que otras con un valor alto tienen una operación casi permanente o de base. Las de punta suelen tener secciones de conducción mayores que pueden ser más aprovechables para transformarlas, aunque siempre deben considerarse caso a caso.

- Condiciones de infraestructura: Se debe evaluar el estado de la infraestructura de la central, incluyendo la presa, las obras de conducción, la casa de máquinas y las líneas de transmisión. Al llevar adelante una refuncionalización se deberán hacer necesariamente obras de reacondicionamiento y seguramente reemplazar por completo: transformadores, instalación eléctrica, sistemas de regulación, pasar de operación humana a operación telecomandada (esto implica un beneficio para los costos de operación), sistemas de lubricación (obsolescencia y problemas ambientales de los vertidos al río), etc.

6. EVALUACIÓN DE LAS CENTRALES A PARTIR DE LOS CRITERIOS DEFINIDOS

6.1 Disponibilidad de un embalse aguas abajo

La existencia o no de un embalse aguas abajo (contraembalse) de cada central se exhibe en la Tabla 2, con el valor de 1 o 0 respectivamente. Sobre las centrales que no cuentan con un embalse aguas abajo construido, podría evaluarse la posibilidad de hacerlo. Para que esto sea posible, debe existir un cierre y un vaso que permitan su implantación y no debe superponerse con otro uso del suelo, por ejemplo, de urbanización.

Tabla 2: Identificación de presencia o ausencia de un embalse aguas abajo de la central

Criterio/ Central	Embalse Inferior
Cruz del Eje	0
San Roque	0
La Calera	0
Fitz Simon	1
Cassaffousth	1
Reolín	1
Piedras Moras	0
La Viña	1
Los Molinos I	1
Los Molinos II	0

Las centrales Los Molinos II y Piedras Moras cuentan con un embalse de reserva (aguas arriba) implantados en la zona llana de la cuenca, sin posibilidad de realizar otro aguas abajo ya que no existe vaso disponible para la construcción de un contraembalse.

Las centrales San Roque y La Calera son alimentadas por el río Primero o Suquía, el cual presenta su cuenca siendo aprovechada integralmente. La cuenca presenta actualmente múltiples usos y se encuentra al límite de estos, estando gran parte de su territorio ocupado por otros usos del suelo. Por lo citado anteriormente el proyecto de construcción de un contraembalse sería conflictivo, sin posibilidad de llevarse a cabo.

Por su parte, construir un embalse aguas abajo de la central Cruz del Eje no sería posible debido a la falta de desnivel necesario en el territorio.

Por los motivos expuestos anteriormente continúan siendo analizadas las centrales que poseen un embalse aguas abajo ya construido que pueda usarse con modificaciones menores. Se identificó que el 50% de las centrales consideradas cuentan con un embalse aguas abajo que podría aprovecharse para la refuncionalización. Las centrales Fitz Simon, Cassaffousth, Reolín, Los Molinos I y La Viña pasan este primer criterio y siguen siendo evaluadas.

Cabe mencionar que al tratarse de centrales que ya se encuentran en funcionamiento y aportando a la red eléctrica, queda garantizada la accesibilidad y cercanía a la red de las mismas.

6.2 Propósitos del embalse

Los propósitos de los embalses analizados se exhiben en la Tabla 3, asignando el valor de 1 a los embalses destinados principalmente al abastecimiento de agua y el valor de 3 a aquellos destinados exclusivamente a la generación de energía.

Tabla 3: Identificación de los propósitos de los embalses asociados a cada central

Central	Embalse Superior	Valor	Embalse Inferior	Valor
Los Molinos I	Los Molinos	1	La Quintana	1
La Viña	La Viña	1	Boca del Río	1
Fitz Simon	Río Tercero	1	Segunda Usina	3
Cassaffousth	Segunda Usina	3	Tercera Usina	3
Reolín	Tercera Usina	3	Piedras Moras	1

6.3 Chimenea de equilibrio

Se evalúa la presencia o ausencia de la chimenea de equilibrio, identificando que cuentan con una sólo las centrales Los Molinos I y Cassaffousth.

6.4 Forma de operación y potencia entregada actualmente

A partir de los datos obtenidos de los informes de la Compañía Administradora del Mercado Eléctrico Mayorista S. A. (CAMMESA), se determinó la relación de potencia entregada respecto de la instalada en cada central (Tabla 4). Cuanto menor es esta relación mayor será la posibilidad de mejorar la potencia realmente entregada a partir de la actualización de los grupos generadores. También se identificó que las centrales tienen igual horas de funcionamiento mensual.

Tabla 4: Relación entre la potencia entregada actualmente y la instalada de cada central

Central	Potencia entregada actualmente
Los Molinos I	85%
La Viña	15%
Fitz Simon	72%
Cassaffousth	53%
Reolín	32%

7. RESULTADOS

En la Tabla 5 se exhiben las principales características analizadas de cada central. Estas son: propósitos del embalse aguas arriba y aguas abajo, existencia de chimenea de equilibrio, volumen del embalse de reserva (aguas arriba) y potencia entregada actualmente respecto de la capacidad instalada. El análisis de estas características puede ser un indicador preliminar sobre qué centrales sería más conveniente plantear la refuncionalización.

Tabla 5: Resultados de las variables analizadas en las centrales

Criterio	Centrales Hidráulicas				
	Los Molinos I	La Viña	Fitz Simons	Cassaffousth	Reolín
Propósito del embalse aguas arriba	1	1	1	3	3
Propósito del embalse aguas abajo	1	1	3	3	1

Chimenea de equilibrio	1	0	0	1	0
Volumen del embalse superior (Hm^3)	307	138	560	10	13
Potencia entregada actualmente	85%	15%	72%	53%	32%

Las centrales Cassaffousth y Reolín tienen asociados embalses destinados casi exclusivamente a la generación de energía, lo que implica la posibilidad de adaptarlos evitando conflictos entre distintos usos, como podría ocurrir en el caso de embalses multipropósito. Por otro lado, por no encontrarse generando el total de su capacidad instalada tienen mayores posibilidades de ampliar la generación al momento de refuncionalizarlas y actualizar el sistema electromecánico. En el caso de la central Cassaffousth, también cuenta con chimenea de equilibrio.

Los Molinos I se encuentra operando prácticamente al límite de su capacidad y los embalses asociados son multipropósito con usos consuntivos, por lo que ampliar su capacidad de generación podría ser una opción conflictiva. Sin embargo, su ubicación y características denotan que su refuncionalización también es posible. Además, los Molinos I presenta la mayor capacidad de generación actual y cuenta con una chimenea de equilibrio ya materializada.

La Viña cuenta con el tercer embalse aguas arriba de mayor capacidad, además de encontrarse generando un 15% de su capacidad total instalada, por lo que también es candidata para ampliar la potencia realmente generada en un proyecto de refuncionalización como central reversible. Debido a que los embalses asociados también son multipropósito, el volumen de agua destinado a usos consuntivos será una variable de gran importancia a considerar.

A continuación, se presentan fotografías de las centrales estudiadas (Figura 2 a 6). En la imagen 1 se puede observar a la izquierda la central La Viña y a la derecha, desde otra perspectiva, se visualiza la presa de arco que embalsa las aguas del río Los Sauces. En las posteriores imágenes se presenta del lado izquierdo la respectiva central y del lado derecho se muestran las turbinas instaladas en cada una de estas.



Figura 2. Central hidroeléctrica La Viña. Fuentes: EPEC y Turismo en Argentina



Figura 3. Central hidroeléctrica Cassaffousth. Fuente: EPEC



Figura 4. Central hidroeléctrica Fitz Simons. Fuente: EPEC



Figura 5. Central hidroeléctrica Los Molinos I. Fuente: EPEC



Figura 6. Central hidroeléctrica Reolín. Fuentes: La Voz y EPEC

8. CONCLUSIÓN Y COMENTARIOS FINALES

El desarrollo de este trabajo permitió la evaluación preliminar de las centrales hidroeléctricas de la provincia de Córdoba, con el objetivo de determinar una prefactibilidad de que puedan ser refuncionalizadas. A partir de identificar la presencia de la obra civil adaptable se restringió el análisis a la mitad de las centrales disponibles. Sobre estas centrales se analizaron los demás criterios considerados, pudiendo identificar que las centrales Cassaffousth y Reolín tienen asociados embalses destinados casi exclusivamente a la generación de energía, lo que implica la posibilidad menos conflictiva de adaptarlos, a diferencia de los sistemas multipropósito. Es por esto que, por ejemplo, la central de Reolín, que no se encuentra generando el total de su capacidad instalada y además le corresponde un embalse superior destinado a generación de energía, representaría una de las mejores opciones para ser refuncionalizada. Por otro lado se tiene, entre otras, la central Los Molinos I que se encuentra operando prácticamente al límite de su capacidad y los embalses asociados son multipropósito con usos consuntivos, por lo que ampliar su capacidad de generación podría ser una opción más compleja de llevar adelante, pero interesante, teniendo en cuenta que la maquinaria y demás elementos mecánicos y eléctricos ya han cumplido su vida útil. Sin embargo, la decisión de cuál central será más conveniente refuncionalizar va a depender de, entre otros, en dónde se requiere prioritariamente la energía, la capacidad de inversión para realizar el proyecto y posibilidad de adaptar la obra civil y electromecánica existente de manera más sencilla.

El alcance del presente estudio es, como ya se ha mencionado, el de determinar una prefactibilidad por lo que se debe continuar con un análisis más específico en cada caso para establecer con mayor precisión la factibilidad de refuncionalización de las centrales. Los estudios siguientes deberán abordar y detallar variables asociadas a las centrales, como el estado actual de las turbinas o la necesidad de obras anexas, estudios relacionados al recurso hídrico, como el volumen de agua disponible para la generación energética en relación a otros usos que puedan tener los embalses asociados y particularidades asociadas al sistema eléctrico, como existencia de capacidad excedente en la red en ambas direcciones o las curvas de demanda y generación. Estos son ejemplos de algunas de las características a estudiar que aportarían a la justificación de la potencialidad del desarrollo e implementación de este tipo de sistemas.

La metodología propuesta puede adaptarse y aplicarse a distintos casos y tipologías de aprovechamientos hidráulicos, ya que se propone evaluar datos generales, y que suelen ser fáciles de obtener, y a su vez puede adaptarse e incorporar variables que sean representativas para otros estudios.

Identificar las centrales que presentan las condiciones necesarias para ser refuncionalizadas como reversibles puede permitir la toma de decisiones en materia de políticas energéticas y ambientales en la región basadas en los resultados obtenidos en el estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguas Cordobesas. *El agua como generador de energía: conocé las 10 centrales hidroeléctricas de Córdoba*. La Voz. Consultado de https://www.lavoz.com.ar/espacio-de-marca/el-agua-como-generador-de-energia-conoce-las-10-centrales-hidroelectricas-de-cordoba/

Andreotti, J. I. 2013. *Centrales Hidroeléctricas de Córdoba, Argentina. Consultor de Telecomunicaciones y Electricidad (CTE)*. Consultado de https://ingenieroandreotti.blogspot.com/2013/03/centrales-hidroelectricas-de-cordoba.html

APRHI. *Presas y Embalses. ArcGIS StoryMaps*. Consultado de https://storymaps.arcgis.com/stories/423aa3e3b87f44248380d80fdcd0818d

Bustamante, J. 2014. *La construcción de un paisaje cultural a escala del territorio: el camino de las usinas del río Suquía*. Revista Labor y Engenho, 8(4), 49-63.

CAMMESA. *Parte Post Operativo | CAMMESA*. Consultado de https://cammesaweb.cammesa.com/parte-post-operativo

Córdova, R. 2013. *Breve Historia de las Turbinas Hidráulicas. Desde la ciencia*. Consultado de http://www.uca.edu.sv/deptos/ccnn/dlc/pdf/turbinas.pdf

Cuesta Diego, L., & Vallarino Cánovas del Castillo, E. 2000. *Aprovechamientos hidroeléctricos*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Devalis, S. A. (Ed.). 2013. *Matriz de recursos energéticos de la Provincia de Córdoba*. Editorial Copiar.

Diques de Córdoba. *Ubicaciones*. Consultado de https://www.diquesdecordoba.com.ar/ubicaciones/

DOE. 2020. *DOE Global Energy Storage Database*. Consultado de https://www.sandia.gov/ess-ssl/global-energy-storage-database/

EPEC. *Centrales Hidroeléctricas. ¿Cómo funcionan? EPEC*. Consultado de https://web.epec.com.ar/generacion_centrales_h.html

Iberdrola. *Central hidroeléctrica de bombeo. ¿Sabes para qué sirven las centrales hidroeléctricas de bombeo?* Consultado de https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/central-hidroelectrica-bombeo

La Voz. 2019. *Reolín y Piedras Moras: generación limpia para el país* [Imagen]. https://www.lavoz.com.ar/espacio-institucional/reolin-y-piedras-moras-generacion-limpia-para-pais/

Jiménez Perez, R. E. 2012. *Estudio de los factores técnicos y económicos que condicionan la instalación de centrales hidroeléctricas de acumulación por bombeo. Evaluación conceptual de su aplicación en Chile*. Repositorio académico de la Universidad de Chile. Consultado de https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/111503

Reyna, S., Reyna, T., Lábaque, M. 2013. *La Energía Hidroeléctrica en Córdoba ante el Paradigma Ambiental. En Matriz de recursos energéticos de la Provincia de Córdoba*. Editorial Copiar.

Reyna, S. M., Reyna, M. T., Lábaque, M. del R. (2023). *Los tajamares en Córdoba: sus primeros diques*. Revista de la Junta Provincial de Historia de Córdoba, 34, 131–166. Consultado de https://revistas.unc.edu.ar/index.php/RJPHC/article/view/44449

Saravia, F., Romero, E., Cortijo, R., Nater, M., Iparraguirre, D., & Saavedra, J. (2022, Marzo). *Centrales hidroeléctricas reversibles: Identificación de potencial y necesidades regulatorias en Latinoamérica.* Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Consultado de. https://publications.iadb.org/es/centrales-hidroelectricas-reversibles-identificacion-de-potencial-y-necesidades-regulatorias-en

Torrico Carmona, A. N., Sempértegui-Tapia, D. F., & Orellana Lafuente, R. 2022. *Análisis y Propuesta para La Implementación y/o Complementación de Centrales Hidroeléctricas Reversibles en Bolivia*. Investigación & Desarrollo, 22(1), 37-48. Consultado de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2518-44312022000100037&script=sci_arttext#B12

Turismo en Argentina. (s.f.). *Dique de La Viña* [Imagen]. https://turismo-en-argentina.com/dique-la-vina/

"IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN CULTIVOS ENERGÉTICOS: ANÁLISIS HIDROMETEOROLÓGICO EN CÓRDOBA, ARGENTINA"

Morello, Agostina L., Reyna, Santiago M., Fulginiti, Fabian A., Bonillo, Paula L.

Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales [1]
agostinamorello@mi.unc.edu.ar; santiago.reyna@unc.edu.ar; fabianfulginiti@unc.edu.ar; paula.bonillo@mi.unc.edu.ar

RESUMEN

Este trabajo aborda cómo las variaciones climáticas afectan la producción de biocombustibles en Córdoba, enfocándose en el biodiésel y bioetanol derivados de los cultivos de soja y maíz. Se comienza contextualizando el cambio climático como una realidad global que afecta a los patrones climáticos, agricultura y ecosistemas, y se subraya la importancia de los biocombustibles como alternativas sostenibles a los combustibles fósiles. Se utilizan datos hidrometeorológicos y de rendimientos agrícolas en el sureste de Córdoba, analizados con pruebas estadísticas y modelaciones estocásticas para entender la relación entre variables climáticas y rendimientos agrícolas. Los resultados muestran que los rendimientos de soja están correlacionados con las precipitaciones, mientras que los del maíz con las temperaturas. Estos hallazgos subrayan la importancia de comprender cómo los cambios climáticos afectan los rendimientos agrícolas y la producción de biocombustibles. Se discuten las implicaciones para las políticas y regulaciones que promueven el desarrollo de biocombustibles en Argentina, destacando la necesidad de una matriz energética diversificada y sostenible que reduzca las emisiones contaminantes. En conjunto, el estudio ofrece una visión integral de la interacción entre cambio climático, producción agrícola e industria de biocombustibles en Argentina, enfatizando la importancia de abordar estos desafíos para una transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles.

Palabras Claves: Cambio Climático; Cultivos Energéticos; Hidrometeorología

ABSTRACT

This study addresses how climate variations affect the production of biofuels in Córdoba, focusing on biodiesel and bioethanol derived from soybean and corn crops. It begins by framing climate change as a global reality that affects weather patterns, agriculture and ecosystems, and highlights the importance of biofuels as sustainable alternatives to fossil fuels. Hydrometeorological and agricultural yield data in southeastern Córdoba, analyzed with statistical tests and stochastic modeling, are used to understand the relationship between climate variables and agricultural yields. The results show that soybean yields are correlated with rainfall, while corn yields are correlated with temperatures. These results underscore the importance of understanding how climate changes affect agricultural yields and biofuel production. Implications for policies and regulations promoting biofuel development in Argentina are discussed, highlighting the need for a diversified and sustainable energy matrix that reduces polluting emissions. Overall, the study provides a comprehensive view of the interaction between climate change, agricultural production and the biofuels industry in Argentina, emphasizing the importance of addressing these challenges for a transition to cleaner and more sustainable energy sources.

Keywords: Climate Change; Energy Crops; Hydrometeorology

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático se refiere a la variación global de los patrones climáticos a lo largo del tiempo, generalmente asociada al aumento de las temperaturas promedio en la Tierra debido a la actividad humana, especialmente la emisión de gases de efecto invernadero. Este fenómeno incluye cambios en la temperatura, las precipitaciones, los patrones de viento y otros factores climáticos que pueden tener efectos significativos en los ecosistemas, la agricultura y la sociedad en general.

Los biocombustibles son combustibles líquidos o gaseosos derivados de fuentes biológicas, como cultivos agrícolas, residuos orgánicos o biomasa forestal. Los principales biocombustibles incluyen el biodiésel, producido a partir de aceites vegetales como la soja, y el bioetanol, obtenido de cultivos como el maíz y la caña de azúcar. Estos biocombustibles son importantes alternativas a los combustibles fósiles debido a su capacidad para aliviar las emisiones de gases de efecto invernadero y promover la seguridad energética ya que en la combustión de la biomasa empleada se genera un ciclo donde la liberación de CO_2 a la atmósfera es luego compensada por la captación de CO_2 por los vegetales.

En la Argentina, el biodiesel es producido exclusivamente a partir del cultivo de soja (Glycine max) como materia prima. En rigor de verdad, el principal insumo en la fabricación de este biocombustible en el país es el aceite de soja. Del procesamiento del grano de soja se obtiene aceite, concentrados y harinas proteínicas. A través de un proceso químico denominado transesterificación, mediante el cual el aceite se combina con alcohol, se obtienen ésteres metílicos, es decir biodiesel. Estos metilésteres se alcanzan una vez que pasaron por varias fases que incluyen la separación, purificación y estabilización (Ver Figura 1). (Secretaría de Bioeconomía, 2024)

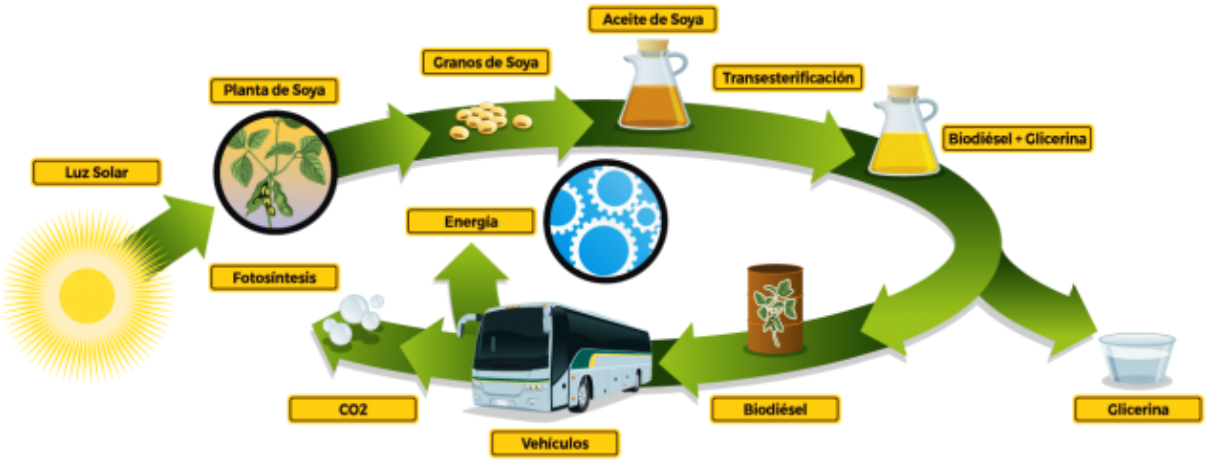


Figura 1. Esquema de producción de biodiesel. Fuente: Agencia IP Paraguay, 2018.

Por su parte el bioetanol se obtiene mediante el proceso de fermentación a partir de biomasa, puede utilizarse mezclado con nafta en cantidades variables, en estado puro (sin mezclar) como una alternativa a la nafta, o bien, para la fabricación del etil-tri-butil-eter, un componente de naftas reformuladas que reemplaza al metil-tert-butil éter. Para la producción de bioetanol de maíz hay dos procesos principales: la molienda en seco y la molienda en húmedo. La molienda húmeda es un proceso donde el grano de maíz se debe separar en sus componentes, con la ventaja que se obtienen subproductos de mayor valor agregado. Hay dos subproductos principales del proceso: el dióxido de carbono (CO2) y los granos destilados (DDGS) o burlanda. El dióxido de carbono se limpia, se comprime y se vende para ser usado como gasificante de las bebidas o para congelar carne. La burlanda se utiliza como parte de la dieta del ganado. Con una composición de 30% de proteína y entre 8 y 12% de aceite (energético/proteico), representa una buena oportunidad de negocio pecuario para los productores asociados ya que posee un precio comparativamente inferior a otros subproductos sustitutos. (Secretaría de Bioeconomía, 2024)

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para evaluar el impacto del cambio climático sobre los rendimientos agrícolas de los cultivos energéticos se requiere generalmente de una base de datos diarios para un conjunto de variables climáticas mayor que la usada generalmente en otros sectores. Este hecho redujo bastante el número

de regiones agrícolas que podían ser estudiadas. Como consecuencia de esto, las áreas de estudio fueron seleccionadas considerando diferentes elementos que permitieran la extrapolación de los resultados.

Para poder llevar a cabo el análisis se comenzó relevando todas las estaciones hidrometeorológicas de la Provincia de Córdoba: estaciones instaladas por la Administración Provincial de Recursos Hídricos (APRHI), el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Además, se tomó información de las plataformas digitales del Sistema Nacional de Información Hídrica del Ministerio de Obras Públicas y OMIXOM.

Se decidió por el estudio de la región sureste de la Provincia de Córdoba. Esta región es fuertemente agrícola y representa una porción considerable de la producción de maíz y soja qué son los principales cultivos empleados en la producción de biocombustibles. Se optó por realizar el análisis sobre dos estaciones del registro del Servicio Meteorológico Nacional, estas corresponden a la estación de Marcos Juárez y Laboulaye señaladas en la Figura 2.

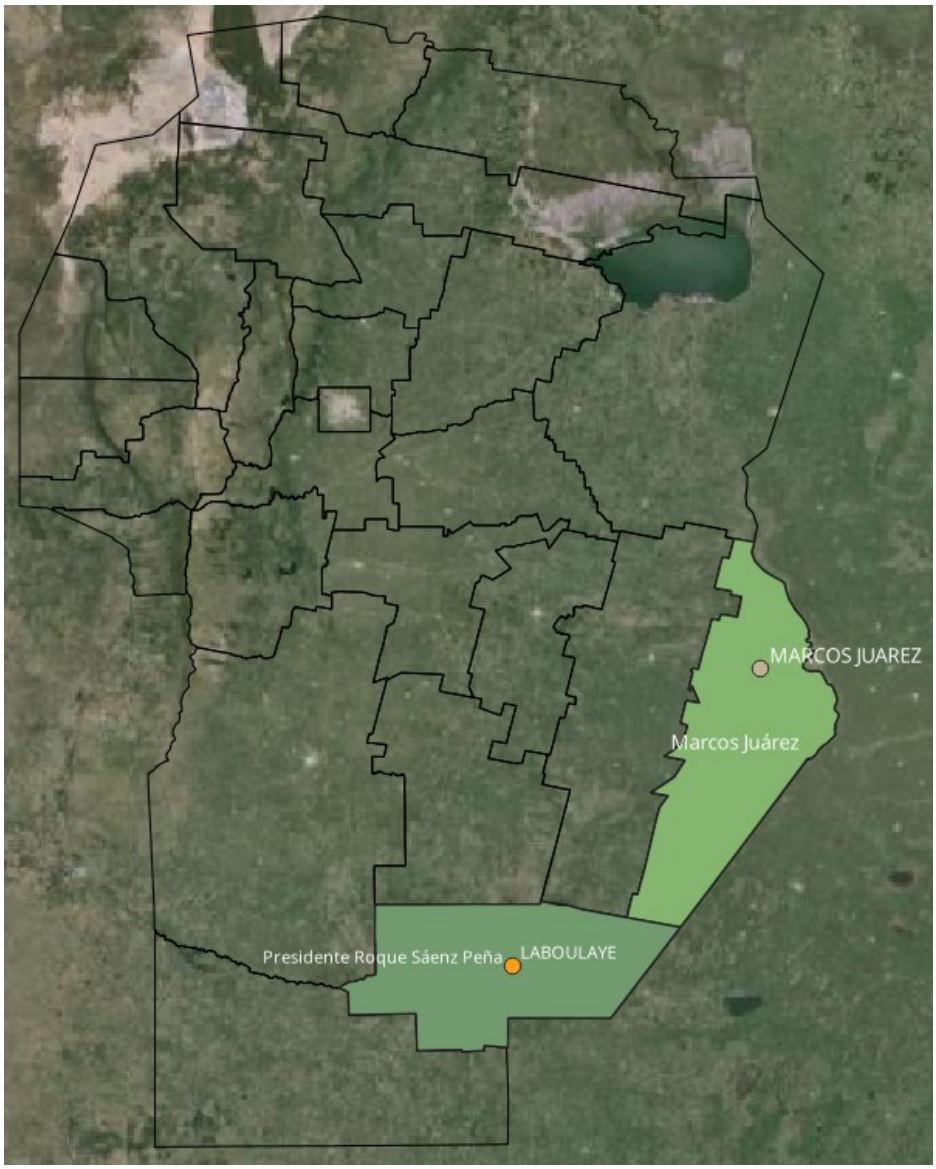


Figura 2. Estaciones meteorológicas y departamentos estudiados. Fuente: Elaboración propia en base a los datos del Servicio Meteorológico Nacional, 2023 y el Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina, 2024.

El marco temporal del presente estudio fue elegido de modo tal que pudiese satisfacer la necesidad de abarcar el período mínimo de 30 años. Este tiempo no es arbitrario ya que, según las directrices de la Organización Meteorológica Mundial (2017), el clima de un lugar o una región está constituido por los datos estadísticos de la meteorología de dicho lugar analizados a lo largo de 30 años o más. De esta manera el período tomado fue desde 1970 hasta 2022. El cambio climático se refiere a los cambios

significativos y sostenidos en las condiciones climáticas promedio durante un largo período de tiempo, generalmente décadas o más. Al analizar series de tiempo de varias décadas consecutivas, se logra detectar tendencias y patrones significativos en los datos climáticos, separando el ruido de las variaciones normales del clima de las señales de cambio a largo plazo. Además, las series de tiempo más largas también brindan una perspectiva histórica más sólida al examinar el clima pasado y compararlo con las condiciones actuales.

En las Figuras 3 y 4 se pueden observar las variables hidrometeorológicas medias de ambas estaciones.

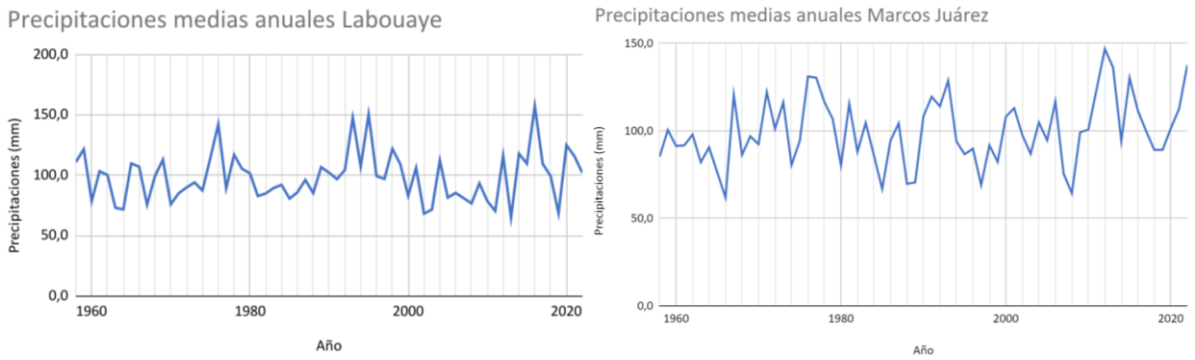


Figura 3. Precipitaciones medias anuales en mm de los departamentos Laboulaye y Marcos Juárez. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, 2023

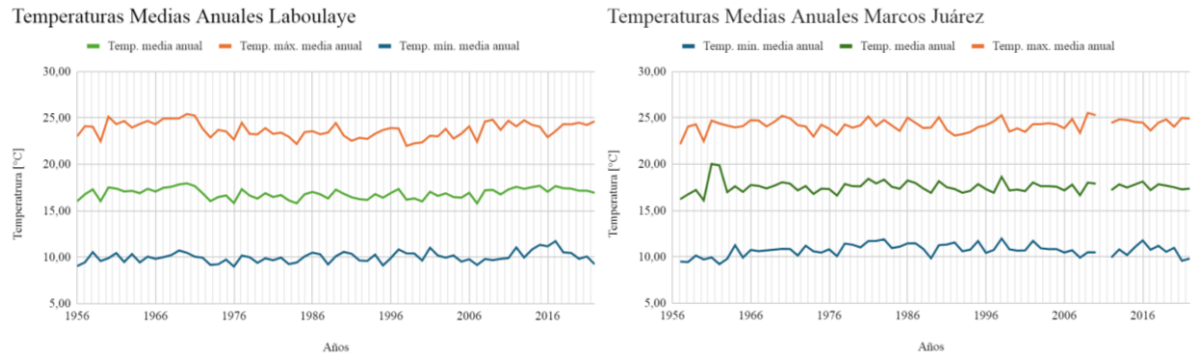


Figura 4. Temperaturas medias anuales de Laboulaye y Marcos Juárez. Fuente: Elaboración propia en base a datos del Servicio Meteorológico Nacional, 2023

Para el estudio del comportamiento del maíz y soja se utilizaron las series de datos de rendimientos anuales brindados por la plataforma DataSets del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación que van desde la campaña 1970/1971 a la campaña 2021/2022 de manera que coincidan con el período de datos hidrometeorológicos seleccionados y de esta manera poder analizar la posible existencia de efectos del cambio climático en los rendimientos. Los mismos indican el rendimiento promedio en kg/ha del departamento donde se encuentran localizadas las estaciones meteorológicas utilizadas anteriormente (Ver Figuras 5 y 6).

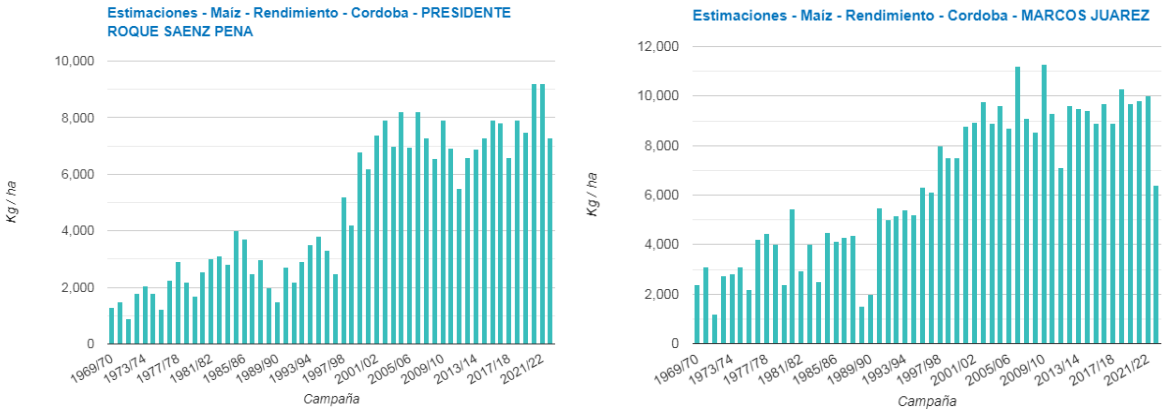


Figura 5. Rendimientos de maíz en kg/ha por campaña. Departamento de Presidente Roque Sanz Peña (Laboulaye) y Marcos Juárez. Fuente: Dirección Nacional de Agricultura. Dirección de Estimaciones Agrícolas, 2024.

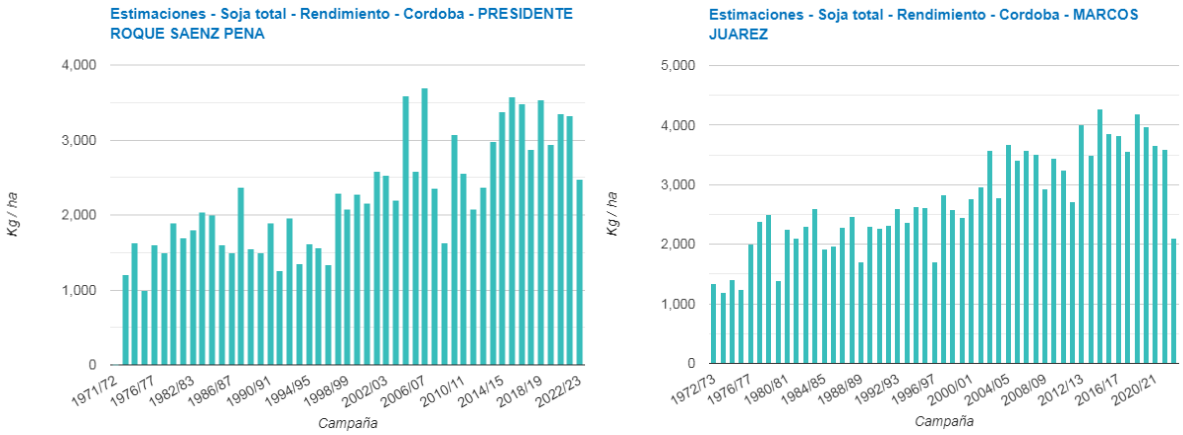


Figura 6. Rendimientos de soja en kg/ha por campaña. Departamento de Presidente Roque Sáenz Peña (Laboulaye) y Marcos Juárez. Fuente: Dirección Nacional de Agricultura. Dirección de Estimaciones Agrícolas, 2024.

En cuanto a los productos y coproductos resultantes de cada tipo de cultivo, según los datos disponibles en el informe realizado por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura en 2022, en Córdoba por cada tonelada de maíz y de soja respectivamente, son indicados en las Tablas 1 y 2:

Tabla 1: Coproductos del maíz. Fuente: Torroba et al. 2022

Maíz	Rendimientos	1000 kg
Bioetanol (t maíz/m^3)	2,5	400 litros
Burlanda humeda	79%	790 kg
Burlanda seca (sobre húmeda)	39%	308 kg
CO_2	6,6%	66 kg
Aceite de maíz	0,7%	7 kg

Tabla 2: Coproductos de la soja. Fuente: Torroba et al. 2022

Soja	Rendimientos	1000 kg
Aceite	18 %	180 kg

Biodiesel (relación 1:1)	1	180 kg
Glicerina (sobre biodiesel)	12 %	22 kg
Ácidos grasos (sobre biodiesel)	0, 5 %	0,9 kg
Densidad biodiesel m^3/t	1 m^3	0,885 kg

Una vez obtenidas las series de datos hidroclimáticos y de rendimientos se procedió a realizar el análisis estadístico para caracterizar una sucesión de variables aleatorias que evolucionan en función de otra variable, generalmente el tiempo. La metodología consta de una serie de etapas: (1) Relevamiento, recopilación y sistematización de datos existentes hidroclimáticos y de rendimientos de cultivos de la provincia de Córdoba, (2) Análisis estadístico de las variables para evaluar su comportamiento y (3) Análisis y modelación de series mediante la implementación de herramientas que permitan el ajuste de modelos estocásticos.

El análisis estadístico se utiliza para caracterizar una sucesión de variables aleatorias (estocásticas) que evolucionan en función de otra variable, generalmente el tiempo. Cada una de las variables aleatorias del proceso tiene su propia función de distribución de probabilidad y pueden o no estar correlacionadas entre sí. (Pérez Ramírez, 2007)

Según lo sugerido por la Guía de Prácticas Climatológicas de la Organización Meteorológica Mundial (2018), para analizar las series de tiempo mediante estadística descriptiva e inferencial y asegurar la independencia de las variables se verificaron primeramente las mismas mediante las pruebas de datos atípicos de Chow, prueba de independencia de Wald-Wolfowitz, prueba de estacionariedad de Mann-Kendall y prueba de homogeneidad de Wilcoxon.

La prueba de datos atípicos detecta datos que se alejan significativamente de la tendencia que se observa en el resto de la serie. Se supone que los datos se encuentran normalmente distribuidos. La retención o eliminación de estos datos puede afectar significativamente la magnitud de los parámetros estadísticos, especialmente en muestras pequeñas. Una serie no es independiente cuando un valor está ligado al anterior o posterior, y se observa una correlación entre los valores sucesivos. Por otro lado, una serie es no homogénea cuando alguno de sus parámetros de estadística descriptiva (por ejemplo, su media, desvío, coeficiente de variación, entre otros) no permanece constante en el tiempo. Además, una serie es no estacionaria si presenta una tendencia temporal significativa. En la práctica, una serie puede presentar tendencia (y por ende ser no estacionaria) debido a diferentes fenómenos tales como variaciones climáticas o efectos de las actividades humanas (Reyna et al, 2023). En la Tabla 3 y 4, se detallan los resultados de las pruebas estadísticas aplicadas.

Si un test se rechaza al 1% significa que se ha encontrado evidencia estadística significativa para rechazar la hipótesis nula a un nivel de significancia del 1%. Si un test se Acepta al 5% significa que no se encontró suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula a un nivel de significancia del 5%. La hipótesis nula en el test de Mann-Kendall es que no hay tendencia significativa en los datos. Para la prueba de Independencia la hipótesis nula es que las variables categóricas son independientes entre sí, mientras que para Wilcoxon establece que no hay diferencia significativa entre las medianas de dos muestras. Es de especial interés continuar el análisis de aquellas series que no cumplen con las pruebas.

Tabla 3: Departamento de Marcos Juárez.

Prueba/Variable	**Soja**	**Maíz**	**Temperatura**	**Precipitaciones**
Datos Atípicos	No existen	No existen	No existen	No existen
Mann Kendall	Rechaza al 1%	Rechaza al 1%	Acepta al 5%	Acepta al 5%
Prueba de Independencia	Rechaza al 1%	Rechaza al 1%	Acepta al 5%	Acepta al 5%
Wilcoxon (Homogeneidad)	Rechaza al 1%	Rechaza al 1%	Acepta al 5%	Acepta al 5%

Tabla 4: Departamento de Presidente Roque Saenz Peña.

Prueba/Variable	Soja	Maíz	Temperatura	Precipitaciones
Datos Atípicos	No existen	No existen	No existen	No existen
Mann Kendall	Rechaza al 1%	Rechaza al 1%	Acepta al 5%	Acepta al 5%
Prueba de Independencia	Rechaza al 1%	Rechaza al 1%	Rechaza al 5%, acepta al 1%	Acepta al 5%
Wilcoxon (Homogeneidad)	Rechaza al 1%	Rechaza al 1%	Acepta al 5%	Acepta al 5%

Una serie de tiempo puede descomponerse en cuatro componentes principales: la tendencia, que indica la dirección general y persistente de los datos a lo largo del tiempo (ascendente, descendente o horizontal); la estacionalidad, que refleja patrones recurrentes a intervalos fijos dentro de un año y puede ser aditiva o multiplicativa; la ciclicidad, que representa fluctuaciones periódicas de mayor duración y no regularidad definida, influenciadas por distintos factores; y la variación aleatoria o ruido, que es la variabilidad residual no explicada por los otros componentes y resulta de factores impredecibles o errores de medición. Esta descomposición es crucial para comprender la estructura de los datos y facilitar el modelado y la predicción de series temporales.

Salas et. al (1980) definen los modelos estocásticos como una herramienta importante para describir el comportamiento de una serie de tiempo, por ejemplo, de precipitación, temperaturas, caudales, niveles, etc., y generar pronósticos de sus próximas observaciones (pp. 97-100). Estos modelos asumen que las variables son aleatorias y están sujetas a incertidumbre. Los pronósticos pueden ser útiles para planificar el futuro y tomar decisiones que minimicen el riesgo. Los modelos de series de tiempo son una herramienta ampliamente utilizada en hidrología y otras disciplinas para analizar y predecir el comportamiento de variables hidrológicas como la precipitación, los caudales de los ríos y la temperatura. Estos modelos se basan en la idea de que los valores pasados de una variable son un predictor útil de los valores futuros. Los modelos ARIMA (Modelos Autorregresivos Integrados de Medias Móviles) combinan los modelos Autorregresivos que suponen que la variable depende linealmente de sus valores pasados y los modelos de Medias Móviles suponen que la variable es una combinación de un término de media constante y un término de ruido estocástico. Los modelos ARIMA combinan a estos para incluir la tendencia y la estacionalidad en los datos utilizándose para predecir la serie de tiempo en función de los valores anteriores de la serie, los errores aleatorios anteriores y la tendencia y estacionalidad de la serie.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos obtenidos a través del análisis estocástico se resumen en la Tabla 5. Allí se indican los modelos ARIMA obtenidos para cada una de las series de tiempo por departamento y variable analizada. Se utilizó el software Statgraphic Centurion XVI Versión 16.1.18 (http://www.statgraphics.com) para el ajuste de modelos ARIMA (Autorregresivos Integrados de Medias Móviles). Los modelos ARIMA (p,q,d) tienen *p* términos Autoregresivos, *q* términos de medias móviles y *d*, diferenciaciones.

Tabla 5: Resultados obtenidos en el análisis estocástico

Departamento	Variable		Rendimiento	
	Precipitación media	Temperatura media	Maíz	Soja
Presidente Roque Sáenz Peña	ARIMA (2,0,0)	ARIMA (0,1,1)	ARIMA (0,1,1)	ARIMA (2,0,0)
Marcos Juárez	ARIMA (2,0,0)	ARIMA (0,1,1)	ARIMA (0,1,1)	ARIMA (2,0,0)

El resultado del análisis estocástico indica que en ambos departamentos analizados los rendimientos de soja se describen por el mismo modelo que las precipitaciones. Los rendimientos de maíz se describen por el mismo modelo que las temperaturas, mostrando correlación con estas. Se subraya la importancia de reconocer la sensibilidad del maíz de primavera a las variaciones climáticas extremas. Es preocupante observar cómo el aumento de la frecuencia de días cálidos y las temperaturas mínimas inusualmente frías impactan negativamente en la producción de cultivos.

Este análisis revela que los modelos que ajustan series de tiempo son además en este caso explicativos de la relación causal existente entre precipitaciones y rendimientos y temperaturas y rendimientos. Esto es crucial para la predicción y comprensión de cómo los cambios climáticos afectan los rendimientos, especialmente en la aplicación de biocombustibles ya que un cambio en los rendimientos de los cultivos modifica indudablemente la cantidad obtenida y los coproductos de cada tipo de cultivo. Para futuras líneas de investigación estos modelos permitirían cuantificar cómo varían los rendimientos de los cultivos cuando las condiciones climáticas cambian, lo cual es fundamental para la evaluación precisa del impacto de estos cambios.

Estos resultados permiten apreciar lo señalado por el INTA (2024), que los rendimientos de los cultivos se ven influenciados por la distribución de las precipitaciones y las temperaturas. Los impactos inmediatos del aumento de las temperaturas incluyen un aumento en la cantidad de evaporación, lo que resulta en suelos más secos, lo que a su vez conduce a cultivos menos productivos y disminución de los pastizales. Las temperaturas más cálidas también pueden significar una mayor proliferación y frecuencia de enfermedades de los cultivos. Esta situación se agrava con la evidencia de que los extremos climáticos, especialmente las temperaturas, tienen una influencia predominante en la predicción de los rendimientos agrícolas, mientras que la precipitación juega un papel menos significativo.

4. Conclusiones

En el marco de la creciente presión sobre la producción de alimentos debido al cambio climático, se anticipa que la frecuencia y la gravedad de los extremos, particularmente las altas temperaturas, aumentarán aún más en el futuro (IPCC, 2023). Este aumento plantea desafíos significativos para la producción agrícola. Mientras que el riego puede ayudar a mitigar parte de los efectos perjudiciales del calor extremo en los cultivos, aquellos que dependen exclusivamente de las precipitaciones, como los cultivos de secano analizados aquí, están particularmente expuestos a sus impactos negativos. Las consecuencias pueden incluir la disminución de rendimientos, la pérdida de calidad de los cultivos y la reducción de la disponibilidad de materias primas para la producción de biocombustibles. En este sentido, es importante destacar que las variaciones pluviométricas afectan no sólo a las actividades productivas, sino que además intervienen en las capacidades de infiltración, la disponibilidad de nutrientes y al suministro de los servicios ecosistémicos (Yan et al., 2014). Además, los cultivos alternativos que podrían utilizarse para la producción de biocombustibles también sufrirán desafíos similares lo que limitará aún más las opciones disponibles para mitigar los impactos en su producción. Es indiscutible que la mejora genética y los avances tecnológicos han desempeñado un papel clave en el incremento del rendimiento de los cultivos, pero los cambios observados en el clima durante el siglo XX también podrían haber contribuido. Comprender estas interacciones pasadas es una cuestión clave para afrontar cualquier cambio climático futuro.

Es conocido que los motores diésel se emplean en una amplia variedad de aplicaciones a nivel global debido a su eficiencia, durabilidad y capacidad para generar potencia en diversos entornos y condiciones operativas. Estos motores son ampliamente utilizados en vehículos y maquinaria. Aunque su principal combustible es el diésel, también pueden funcionar con biodiésel. Sin embargo, a pesar de sus beneficios, los motores diésel tienden a generar mayores emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) y partículas de hollín en comparación con otros tipos de motores (los de ciclo Otto), lo que puede contribuir a la contaminación atmosférica y tener impactos negativos en la salud humana y el medio ambiente. En noviembre del 2023, el Parlamento Europeo votó su posición en primera lectura sobre un nuevo reglamento (Euro 7) para la homologación de vehículos de motor. Esta propuesta se centra en

mejorar los procedimientos de control para todos los vehículos, actualizando las actuales normas sobre emisiones de contaminantes como los óxidos de nitrógeno (NOx), las partículas (PM), el monóxido de carbono y el amoníaco emitidos por los actuales motores de combustión. Buscando que todos los vehículos vendidos a partir de 2025 no emitan más de 60 miligramos de NOx. La relación entre estos motores y los biocombustibles es significativa, ya que el sector del transporte es uno de los principales consumidores de combustibles fósiles y potencialmente de biocombustibles, pudiendo así ver modificada su demanda. Los biocombustibles tienen un gran potencial como fuente energética de transición en el cambio hacia un futuro energético más sostenible. A medida que las sociedades se esfuerzan por reducir la dependencia de los combustibles fósiles y mitigar los impactos del cambio climático, estos ofrecen una alternativa prometedora sirviendo como un complemento versátil a otras fuentes de energía renovable. Sin embargo, es esencial reconocer que los biocombustibles no están exentos de sus desafíos y consideraciones.

Este estudio no solo destaca la importancia de comprender y prever los impactos del clima en la producción agrícola, sino que también proporciona una guía para priorizar los esfuerzos de investigación que respalden el desarrollo de sistemas adaptativos, identificando los factores climáticos más relevantes para las predicciones de rendimiento y estimando su contribución a las fluctuaciones del rendimiento. Es imperioso proseguir las investigaciones que evalúen la afectación no solo del cambio sostenido en las condiciones climáticas, sino también el de los eventos extremos cada vez más frecuentes. Vogel et al, 2019, identificó esta conexión entre los extremos climáticos y los rendimientos de cultivos como maíz y soja a escala continental, situación en la que se encuentra la provincia de Córdoba. Particularmente se busca contribuir al creciente interés y desarrollo de esta provincia en el área de biocombustibles debido a las nuevas reglamentaciones y legislaciones existentes. Entre ellas se puede mencionar la Ley Provincial N° 10.721 de Promoción y Desarrollo para la Producción y Consumo de Biocombustibles y Bioenergía que se complementan con los beneficios impositivos de la Ley N°10.724. También, a nivel nacional la Ley N.º 27.640, que establece el actual Marco Regulatorio de los Biocombustibles: donde se indica el corte obligatorio de 7,5% de biodiésel en el gasoil comercializado en el territorio nacional y el corte obligatorio de 12% de bioetanol en naftas comercializadas en el territorio nacional. También señala que tanto el biodiésel como el bioetanol no estarán gravados por el Impuesto a los Combustibles Líquidos (ICL) ni por el Impuesto al Dióxido de Carbono (ICO2) en ninguna de sus etapas de producción, distribución y comercialización. A ella se suma la Ley Nacional N.° 26334/2007 que establece el Régimen de Promoción de Bioetanol. Esta legislación proporciona un marco favorable para la producción y el consumo de biocombustibles, lo que podría tener un impacto significativo en la industria de los biocombustibles, su demanda y su producción en la región.

Finalmente, es crucial reconocer la importancia de una matriz energética diversificada, pero también es fundamental comprender los impactos que esta diversificación puede tener en el medio ambiente y la salud humana. A medida que avanzamos en la investigación y tecnología de los motores diésel, es esencial abordar específicamente las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx), dado que, a diferencia de las plantas térmicas, la reducción de la temperatura en alguna etapa no es una solución viable en los motores diésel. Sin embargo, esto no implica que el uso de biodiésel no sea beneficioso o útil. La implementación de políticas y regulaciones, como las establecidas en las leyes provinciales y nacionales mencionadas, que promueven el uso de biocombustibles, puede contribuir significativamente a mitigar los impactos negativos de los combustibles fósiles en el medio ambiente y fomentar la transición hacia fuentes de energía más sostenibles.

5. REFERENCIAS.

Agencia Argentina de Inversiones y Comercio Internacional (2021) *Informe Sectorial para Inversores Internacionales. Energía / Biocombustibles.* Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto de la Nación. Disponible en https://www.inversionycomercio.ar/pdf/sectores/energia/AAICI_Energ%C3%ADaBIO.pdf

Agencia IP Paraguay. (2018). Empresarios del biodiesel esperan que la mezcla se incremente hasta

el 10. https://www.wipo.int/members/en/contact.jsp?country_id=144

Barros, V. R., Boninsegna, J. A., Camilloni, I. A., Chidiak, M., Magrín, G., & Rusticucci, M. M. (2015). *Climate change in Argentina: trends, projections, impacts and adaptation.* Wiley Interdiscip. Rev. Climate Change, 6(2), 151–169. 10.1002/wcc.316.

Coordinación de Bioenergía, Dirección Nacional de Bioeconomía, Cianti, M. (2024) *Informe Bioenergía Abril 2024.* Dispnonible en https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/bioenergia/informes/_archivos//000008_Informes%20Bioenerg%C3%ADa%202024/240400_Informe%20Bioenerg%C3%ADa%20(Abril%202024).pdf

Dirección Nacional de Agricultura. Dirección de Estimaciones Agrícolas (2024). *Estimaciones Agrícolas.* Disponible en https://datos.gob.ar/dataset/agroindustria-agricultura---estimaciones-agricolas/archivo/agroindustria_95d066e6-8a0f-4a80-b59d-6f28f88eacd5

Elliot J.et al (2014) *Limitaciones y potencialidades del riego futuro. Disponibilidad de agua en la producción agrícola bajo el cambio climático.* Proc. Acad. Nacional. Ciencia 43239 – 44.

European Parliament. (2023). *Euro 7 motor vehicle emission standards. AT A GLANCE Plenary – November I 2023.* https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2023/754573/EPRS_ATA(2023)754573_EN.pdf

Haylock, M. R., Peterson, T. C., Alves, L. M., Ambrizzi, T., Anunciação, Y.M. T., Báez, J., Barros, V. R., Berlato, M. A., Bidegain, M., Coronel, G., Corradi, V., García, V. J., Grimm, S., Karoly, D., Marengo, J., Marino, M. B., Mocunill, D. F., Nechet, D., Quintana, J., Vincent, L. A. (2006). *Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960–2000 and Links with Sea Surface Temperature*. Journal of Climate, 19(8), 1490-1512. 10.1175/JCLI3695.1

Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina. (2024). Portal Geoestadístico. https://portalgeoestadistico.indec.gob.ar/

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), (2024) Precipitaciones récord: el desafío que enfrentan los cultivos y la ganadería. https://www.argentina.gob.ar/noticias/precipitaciones-record-el-desafio-que-enfrentan-los-cultivos-y-la-ganaderia

IPCC, 2023. *Summary for Policymakers. En: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* **[**Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001

Organización Meteorológica Mundial. (2017). *Directrices de la Organización Meteorológica Mundial sobre el cálculo de las normales climáticas.* https://library.wmo.int/es/records/item/60338-directrices-de-la-organizacion-meteorologica-mundial-sobre-el-calculo-de-las-normales-climaticas?language_id=30&back=&offset=

Organización Meteorológica Mundial. (2018). *Guía de Prácticas Climatológicas.* OMM. ISBN 9789263301000

Pérez Ramírez, F. O. (2007). *Introducción a las series de tiempo. Métodos paramétricos.* Sello Editorial, Universidad de Medellín. https://books.google.es/books?id=KvLhxFPwvsUC&pg=PA13&dq=un+proceso+estoc%C3%A1stico+es&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=un%20proceso%20estoc%C3%A1stico%20es&f=false

Reyna S., Juliá M., Buraschi M., Reyna T., Recabarren P., López F., Mansur S., Devalis S., Conde Serra A., Giovine E., Peretti N. F., Amato C., Fulginiti F. , Bianco M. F., Neyra S., Marini L., Regali A., Bertolino C., Blarasin S., González S., Foradori M. F., Conforti N. (2022) *Actores Sociales Frente Al Desafío De La Sustentabilidad III.* Proyectos Consolidar 2018-2022. ISBN 978-987-88-5601-8

Reyna S., Rico A, Juliá M, Bonini A, Morello A, Bonillo P. (2023) *Análisis de los efectos del Cambio Climático sobre los Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba. Informe final.* CIRSA - INA. Ministerio de Obras Públicas, Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica.

Reyna S, Juliá S, Rico A, Reyna T, Fulginiti F, Bonini A, Morello A, Bonillo P. (2023) *Análisis Estocástico en la Hidrometeorología de Córdoba para Identificar Indicios del Cambio Climático.* XXVII Congreso Nacional del Agua, Buenos Aires, Argentina, junio 2023.

Rusticucci, M., Barrucand, M., & Collazo, S. (2017). *Temperature extremes in the Argentina central region and their monthly relationship with the mean circulation and ENSO phases*. International Journal of Climatology, 37(6), 3003-3017. 10.1002/joc.4895

Salas, J. D., Delleur, J. W., Delleur, Yevjevich, V., Lane W. L. (1980). *Applied modeling of hydrological time series*. (pp. 95-100) Water Resources Publications, Chelsea, Michigan.

Secretaría de Bioeconomía. (2024). *Biodiesel.* Secretaría de Bioeconomía. Consultado el 27 de junio, 2024, desde https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/observatorio_bioeconomia/indicadores/06/index.php

Secretaría de Bioeconomía. (2024). *Bioetanol.* Secretaría de Bioeconomía. Consultado el 27 de junio, 2024, desde **https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/bioenergia/informes/bioetanol.php**

Servicio Meteorológico Nacional. (2023). Córdoba. Servicio Meteorológico Nacional. Consultado el 23 de junio de 2023, en https://www.smn.gob.ar/

Torroba, A., & Fuchs, M. (Eds.). (2022). *Desarrollo bioeconómico a través de los biocombustibles en la provincia de Córdoba, Argentina. Aportes para la formulación de un plan para la aplicación de la Ley Provincial de biocombustibles y bioenergía*s. San José, C.R.: IICA.

Vogel, E., Donat, M. G., Alexander, L. V., Meinshausen, M., Ray, D. K., Karoly, D., ... & Frieler, K. (2019). *The effects of climate extremes on global agricultural yields*. Environmental Research Letters, 14(5), 054010.

Yan, L., Chen, S., Xia, J., y Luo, Y. (2014). *Precipitation regime shift enhanced the rain pulse effect on soil respiration in a semi-arid steppe*. PloS One, 9(8), e104217.

"ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN UN CAPS DE YERBA BUENA"

Corán, L.; Petersen, S.;Rico Sucar, M. D.;Valero, M. J.; Peñaloza, M.; Zamora Rueda, G. y Mendez,H.

Facultad de Ingeniería, Universidad del Norte Santo Tomás de Aquino, Yerba Buena- Tucumán. CP4177
leonardocoran@gmail.com; solpetersen1305@gmail.com; mdelfina088@gmail.com; tetevalero03@gmail.com; mariano.penaloza@unsta.edu.ar; gimena.zamora@unsta.edu.ar; horacio.mendez@unsta.edu.ar

RESUMEN

Considerando las políticas energéticas actuales, en las cuales hubo un incremento significativo en el costo del kWh de energía eléctrica generada y teniendo en cuenta, a su vez, la configuración de la matriz energética de la Argentina donde existe una mayor preponderancia en el uso de la energía térmica (59 %) a partir de combustibles fósiles, es menester trazar planes alternativos orientados al uso y aprovechamiento de las fuentes de energía renovables. El concepto de la sustentabilidad nos lleva a entender que nos encontramos en un mundo con recursos escasos y una población en constante crecimiento cuyas necesidades se incrementan significativamente en un modelo de desarrollo económico que vino dándose mediante el empleo de tecnologías obsoletas. Esto se traduce en problemas de disponibilidad de energía que derivan en la necesidad de un estudio más exhaustivo en lo que se refiere al aprovechamiento de las energías disponibles. La problemática planteada afecta a la sociedad en general, pero sobre todo a las instituciones de salud pública. Por tal motivo, el objetivo de este artículo es presentar el estudio, evaluación y propuesta de alternativas tecnológicas adecuadas a partir del uso de energías limpias para un centro de atención primaria perteneciente a la Municipalidad de Yerba Buena.

Palabras clave: Sustentabilidad, eficiencia energética, ambiente, energías renovables.

ABSTRACT

Considering the current energy policies, in which there was a significant increase in the kWh of electrical energy generated and taking into account, in turn, the configuration of the energy matrix of Argentina where there is a greater preponderance in the use of thermal energy (59%) from fossil fuels. It is necessary to draw up alternative plans aimed at the use and exploitation of renewable energy sources. The concept of sustainability leads us to understand that we find ourselves in a world with scarce resources and a constantly growing population whose needs increase significantly in an economic development model that has been taking place through the use of obsolete technologies. This translates into energy availability problems that lead to the need for a more exhaustive study regarding the use of available energy.
The problem raised affects society in general, but especially public health institutions. For this reason, the objective of this article is to present the study, evaluation and proposal of appropriate technological alternatives based on the use of clean energy for a primary care center belonging to the Municipality of Yerba Buena.

Key Words: Sustainability, energy efficiency, environment, renewable energy.

1. INTRODUCCIÓN

La crisis climática y energética mundial, ha planteado la necesidad de adoptar medidas urgentes para mitigar sus efectos y poder avanzar hacia un futuro más sostenible. En este contexto, el cuidado del medio ambiente y la utilización de energías renovables han cobrado una importancia fundamental en el desarrollo de políticas energéticas. Los países y comunidades de todo el mundo están buscando formas de reducir su huella de carbono. En nuestro país aproximadamente el 59 [%] de la energía generada proviene de fuentes de origen fósil (Secretaria de Energía, 2021). Por tal motivo, tanto Argentina como varios países de América Latina vienen acompañando la tendencia mundial orientada a la implementación de medios renovables para la generación de energía eléctrica (Depetris, Ferreira, & Britch, 2020) a fin de mitigar los efectos negativos de las fuentes de energía no renovables empleadas en la actualidad.

El sector de la salud es uno de los mayores consumidores de energía, empleando dicha energía en calefacción, iluminación y equipamiento eléctrico, aportando indirectamente emisiones de GEI (gases de efecto invernadero) debido al alto consumo de energía para su funcionamiento (Seguel Sandoval, Améstica Rivas, & Radrigán Ewoldt, 2021), por lo que, tiene un papel esencial en esta transformación. La transición hacia fuentes de energía renovable en las instituciones sanitarias no solo contribuye a la lucha contra el cambio climático, sino que también mejora la resiliencia energética de estas instalaciones, reduce los costos operativos a largo plazo y promueve un entorno más saludable para los pacientes y el personal médico.

Las edificaciones en general representan más del 40% del consumo energético mundial, y en Argentina, el sector edilicio es responsable del 37% del consumo de energía, siendo la climatización uno de los factores más significativos. En el contexto del consumo final de energía a nivel nacional, el sector Comercial-Público, que incluye el subsector de Salud, representa un 25% del total (Fernández & Garzón, 2023). Esta situación destaca la importancia de mejorar la eficiencia energética en los establecimientos de salud.

En Argentina, y particularmente en Tucumán, los Centros de Atención Primaria de la Salud (CAPS) desempeñan un rol fundamental en la prestación de servicios de salud a la comunidad. La provincia cuenta con 324 establecimientos para la salud provinciales administrados por el Sistema Provincial de Salud (SIPROSA), de los cuales 298 son CAPS. (Fernández & Garzón, 2019). Estos están distribuidos en cuatro áreas programáticas: Centro, Sur, Este y Oeste. Estos centros están estratégicamente ubicados para garantizar el acceso a la atención médica en toda la provincia. Dentro de estos, 82 se encuentran en el Área Centro, que incluye San Miguel de Tucumán y Yerba Buena, donde reside el 49% de la población de la provincia. (Ministerio de Salud Pública, 2014). Dado su volumen de pacientes y la demanda energética asociada, un CAPS en Yerba Buena ofrece un escenario ideal para evaluar la viabilidad en la implementación de energías renovables.

El sistema de salud en Tucumán enfrenta desafíos significativos en términos de energía, que afectan directamente la calidad de la atención médica. Debido a los frecuentes cortes de energía, especialmente durante los meses de verano, se ve interrumpido el funcionamiento de equipos médicos críticos, poniendo en riesgo la continuidad de tratamientos y comprometiendo la comodidad de los pacientes. Además, los elevados costos energéticos representan una carga financiera considerable para las instituciones sanitarias, lo que limita los recursos disponibles para mejorar la infraestructura y los servicios.

Frente a este escenario, la implementación de energías renovables en un CAPS de Yerba Buena no solo podría reducir significativamente la huella de carbono de la instalación, sino que también serviría como un modelo replicable para otras instituciones sanitarias en Argentina y América Latina. Abordando tanto los beneficios como los desafíos de ésta transición energética.

El presente estudio se centra en analizar la posibilidad de implementa energías renovables en el CAPS de Horco Molle. Como así también, evaluar el consumo energético total del CAPS mediante el cálculo de la demanda de la instalación eléctrica, así como analizar su entorno físico natural, comprobar la

viabilidad del empleo de las energías renovables en el CAPS y determinar los tipos de energías renovables más adecuados para su aplicación en el CAPS.

Con este proyecto, se busca no solo mejorar la eficiencia energética de los CAPS, sino también establecer un precedente en la transición hacia un sector de la salud más sostenible y resiliente, que no solo se preocupe por la salud de las personas, sino también por el ambiente que lo rodea.

TIPOS DE ENERGÍAS RENOVABLES DISPONIBLES

Las energías renovables son aquellas que provienen de fuentes primarias de energía presentes en la naturaleza, y que se disponen de manera continua en períodos de tiempo relativamente cortos en comparación con las fuentes de energía no renovables. El empleo de una u otra depende de múltiples factores como ser: grado de disponibilidad, eficiencia del sistema, espacio disponible, vida útil, costos de la instalación, costos de generación y emisiones de gases de efecto invernadero (Yajure Ramírez & A., 2017), entre otros factores.
Entre los distintos tipos de energías renovables aplicables para nuestro estudio, podemos considerar: la energía eólica, la energía solar y la energía proveniente de la biomasa.

1.1. Energía eólica

Es aquella proveniente del movimiento de una masa de aire que se presenta en forma de viento y al igual que la mayoría de las fuentes de energías renovables, proviene del sol, puesto que son las diferencias de temperaturas entre las distintas zonas geográficas de la tierra las que generan la circulación del aire. (Perdomo Delgado, Jaimes Herrera, & Almeira, 2014).

1.2. Energía solar

Es la energía que se obtiene de la radiación solar que llega a la tierra. Siendo considerada un tipo de energía limpia y renovable ya que su fuente es el sol (Estrada & Arancibia, 2010).
Esta forma de energía puede aprovecharse de dos maneras: energía solar térmica (orientada a la generación de agua caliente para consumo doméstico) y energía solar fotovoltaica (transformación de la radiación solar en electricidad mediante el empleo de semiconductores que integran los paneles solares fotovoltaicos) (Rufes Martínez, 2010).

1.3. Energía de la biomasa

Esta energía se basa en la utilización de la materia orgánica formada por vía biológica en un pasado inmediato o de los productos derivadas de la misma. La energía se libera al romper los enlaces de los compuestos orgánicos en el proceso de combustión, dando como productos finales dióxido de carbono y agua (Fernández J.). La energía de la biomasa puede emplearse en procesos de calefacción, como así también, en la generación de energía eléctrica.

2. METODOLOGIA

Para el desarrollo de éste trabajo, se consideraron las condiciones geográficas y climáticas de la región donde se encuentra ubicado el Centro de Atención Primaria de la Salud motivo de éste estudio. A su vez, se realizó un relevamiento integral del CAPS a fin de conocer las características de la infraestructura, instalaciones eléctricas y de agua caliente sanitaria para definir, a partir de aquí, los requerimientos energéticos.

Durante el relevamiento se determinaron las dimensiones de cada una de las habitaciones que comprenden el centro médico y los consumidores presentes en cada una de ellas (luminarias, aires acondicionados, estufas, autoclaves, heladeras, computadoras, etc.).

Además, se realizó una verificación detallada del consumo de cada uno de los aparatos eléctricos instalados en el edificio mediante el empleo de una pinza amperométrica (marca TESTO), que permitió medir la corriente y tensión en los consumidores.

A partir de los datos obtenidos del relevamiento de las instalaciones se realizaron los cálculos de las cargas de verano (Quadri, 2009) requeridas para acondicionar las distintas habitaciones pertenecientes al CAPS.

Finalmente se calculó el consumo energético total y se determinaron los requerimientos técnico-económicos de la instalación de energía renovable necesarios para suplir la demanda energética requerida.

3. RESULTADOS

3.1. Caracterización geográfica del área de trabajo

El C.A.P.S de Horco Molle se encuentra ubicado a 4 [km] al Noroeste de Yerba Buena, dentro de la localidad del mismo nombre. La distancia medida entre el Campus Universitario UNSTA y el CAPS es de 3,9 [km] por ruta sugerida (ver Figura 1).

El clima de la región es cálido-húmedo en verano e inviernos atemperados. Esto nos indica que la necesidad de aclimatación en nuestra zona es muy frecuente.

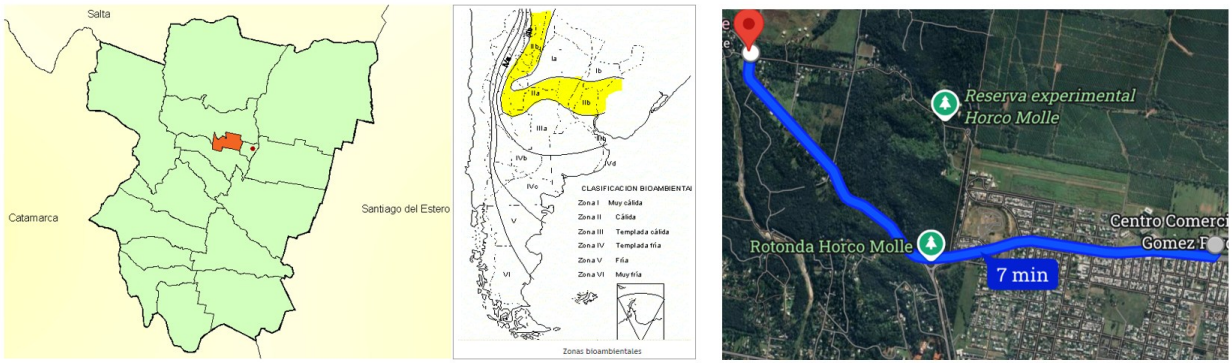


Figura 1. Ubicación, zona bioclimática y accesibilidad.

3.2. Análisis de la viabilidad técnica para el empleo de energías renovables

En la selección del tipo de energía renovable a emplear debe destacarse que el centro médico se encuentra en una región con formación vegetal dominante por nuboselva y bosques de montaña lo que dificulta el uso de la energía eólica debido a la morfología de la región y las bajas velocidades del viento.

Esto nos lleva a considerar como alternativas la energía solar y la proveniente de la biomasa. Siendo ésta última de amplia disponibilidad en la región.

El inconveniente observado con la biomasa es que los rendimientos y costos de los equipos requeridos tanto para calefacción como generación de energía eléctrica resultan elevados. A esto se suma los de recolección y transporte que terminan encareciendo significativamente la realización del proyecto.

A partir de lo planteado adoptaremos la tecnología de energía solar fotovoltaica como la propuesta más apropiada debido a los costos y versatilidad del sistema.

3.3. Disposición arquitectónica y consumo eléctrico

El edificio, situado sobre la Ruta Provincial 340 en Yerba Buena, Tucumán, presenta su fachada orientada hacia la misma. Consta de un edificio principal y una expansión realizada posteriormente, lo cual se evidencia en las diferentes técnicas constructivas empleadas. En su interior, alberga múltiples consultorios destinados a diversas especialidades médicas, además de contar con una sala de espera, una cocina y una oficina administrativa.

En Figura 2 pueden observarse las habitaciones que conforman el CAPS y en Figura N°3 se indica la ubicación de las luminarias, ventiladores y aires acondicionados presentes en cada una de ellos.



Figura 2. Identificación de los ambientes que conforman el CAPS



Figura 3. Disposición de luminarias, ventiladores y aires acondicionados

Tabla 1. Consumo energético expresado en [kW] de cada ambiente del CAPS

Ambiente	Nombre designado	Dimensiones [m3]	Consumo energético [kWh]
1	Entrada	6,7x4,0x2,4	44,64
2	Farmacia	2,6x3,2x2,4	33,48
3	Consultorio Múltiple	2,9x2,9x2,4	43,14
4	Enfermería	3,7x2,9x2,4	44,64
5	Baño publico	2,8x1,0x2,4	0,015
6	Odontología	3,7x2,1x3,0	44,64
7	Baño privado	1,0x2,1x3,0	0,015
8	Consultorio 2	2,8x2,1x3,0	44,64
9	Sala de Situación	2,8x3,0x2,8	44,64
10	Dirección	2,0x3,2x3,2	42,84
11	Cocina	2,9x7,5x3,0	42,84
Energía total consumida			**385,53**

En Tabla 1 puede observarse, en base a las mediciones realizadas, el consumo eléctrico expresado en [kW] de cada una de las habitaciones del CAPS. Se consideró la necesidad de enfriar los ambientes durante un período de 12 horas, asumiendo que todos los servicios funcionan mientras el CAPS se encuentre en horario laboral. A su vez, se decidió considerar éste supuesto para la estación de verano

por resultar el período de mayor consumo energético y donde los cortes de energía eléctrica se producen con frecuencia afectando la atención de las personas que asisten a dicho centro asistencial.

En vista a que el consumo del CAPS asciende a 385.53 [kWh] y teniendo en cuenta que el mismo ya posee iluminación mediante tecnología LED, el mayor consumo recae en el acondicionamiento de los ambientes por lo que se propone la implementación de paneles solares para poder disminuir la cantidad consumo eléctrico de la red y asegurar disponibilidad del sistema eléctrico.

3.4. Selección del sistema fotovoltaico y estudio económico

Un análisis del entorno del CAPS y de sus patrones de consumo sugiere que la implementación de un sistema solar fotovoltaico es una solución viable y sostenible para satisfacer las necesidades energéticas continuas necesarias para la prestación de servicios médicos. La implementación de un sistema fotovoltaico en un centro de salud no solo mejora las condiciones de vida de la población, sino que también aprovecha de manera óptima las condiciones geográficas de Horco Molle, donde este tipo de sistemas puede desarrollarse sin alterar el entorno ni perjudicar la flora y fauna locales. Además, diversas investigaciones han demostrado la viabilidad de estas instalaciones en centros de salud similares (Urieta Lozano, 2023), (Pérez Martínez, 2019) lo que refuerza la pertinencia de considerar la energía solar como la alternativa más adecuada para éste proyecto.

En base a la disponibilidad de energía eléctrica por red, la instalación fotovoltaica que se empleará será del tipo grid tied (acopladas a la red) que se caracteriza por emplear la energía que generan los paneles solares, y en el caso que se produzca un excedente este se vierte a la red. A su vez, el tipo de conexión de los paneles será en serie (considerando la adopción del sistema grid tied). La ventaja que presenta ésta conexión es que la tensión total es mayor a la que se obtiene para una conexión en paralelo (Urieta Lozano, 2023).

En cuanto a las características del sistema fotovoltaico, considerando un factor de simultaneidad de la instalación de 0.8, la potencia eléctrica que deberían suministrar los paneles asciende a 55,08 [kW]. A su vez, considerando el uso de paneles solares monocristalinos de 560 [W] de 144 celdas (dimensiones: 2279 [mm] x 1134 [mm] x 35 [mm]) se pudo determinar que la cantidad total de paneles requeridos asciende a 98 con una superficie horizontal necesaria para la instalación de los mismos de 252,3 [m2].

Al considerar el sistema grid tied, se requiere el empleo de un inversor, por lo que se seleccionó un inversor Huawei SUN2000-100KTL-M1, el cual posee una potencia activa de 100 [kW].

En lo referido a la soportería, se consideraron soportes de paneles cuyas dimensiones son de 2100 [mm] x 4300 [mm] con un ángulo de inclinación regulable.

En cuanto al aspecto económico del proyecto, el costo total del mismo, incluyendo accesorios eléctricos requeridos para la instalación (cables, terminales, cañerías, etc.) y mano de obra, asciende a USD 148223,35.

Con respecto a los indicadores financieros empleados en la evaluación de la rentabilidad (TIR) y viabilidad del proyecto (VAN) los mismos se calcularon considerando una inflación anual del 48 [%] y una tasa de retorno del 43 [%]. A partir de aquí los valores obtenidos fueron: VAN=USD 8851 y TIR=40 [%]. Es importante destacar que, a partir del estudio del flujo de caja, se empieza a recuperar el dinero invertido a partir del noveno año.

4. CONCLUSIONES

En conclusión, el análisis de la viabilidad técnico-económica para implementar energías renovables en el Centro de Atención Primaria de la Salud (CAPS) de Horco Molle en Yerba Buena revela que la transición hacia el uso de paneles solares es una alternativa viable y beneficiosa. El estudio detallado del consumo energético del CAPS y las características climáticas de la región demuestran que la implementación de paneles solares podría cubrir la demanda energética del centro, reduciendo significativamente la dependencia de fuentes de energía convencionales basadas en combustibles fósiles.

Adoptar ésta tecnología no solo disminuiría la huella de carbono del CAPS, contribuyendo a los objetivos de sostenibilidad y eficiencia energética, sino que también mejoraría la resiliencia energética del establecimiento. Esto es crucial en un contexto donde los cortes de energía pueden afectar gravemente la operación de equipos médicos críticos y, por ende, la calidad de la atención sanitaria.

La implementación de paneles solares en el CAPS de Horco Molle podría servir como un modelo replicable para otros centros de salud en la región y en todo el país, marcando un paso significativo hacia un sistema de salud más sostenible y comprometido con el cuidado del medio ambiente. Además, este enfoque podría generar ahorros económicos a largo plazo, liberando recursos que podrían invertirse en la mejora de la infraestructura y los servicios de salud.

Además, en Tucumán existe gran variedad de recursos biomásicos derivados de las actividades agrícolas y agroindustriales que también podrían ser utilizados como fuente de energía renovable. Nuestro principal cultivo es la caña de azúcar, que genera una importante fuente de biomasa con gran potencial energético que podría emplearse con complemento de otras formas de energías a fin de suplir los requerimientos energéticos de las instalaciones.

5. Referencias

Depetris, L., Ferreira, D., & Britch, J. (2020). Estimación de la reducción de la huella de carbono provocada por la instalación de paneles solares fotovoltaicos en UTN Facultad Regional San Francisco. *Jornadas de Ciencia y Tecnología 2020.* San Francisco, Córdoba.

Estrada, C., & Arancibia, C. (2010). Las energías renovables: La energía solar y sus implicancias. *Revista Digital Universitaria, 11*(8), pp. 1-27.

Fernandez, A., & Garzón, B. (2019). Estrategias para la eficiencia termo-energética en un centro primario de salud en Tafí del Valle, Tucumán. *III Encuentro Latinoamericano y Europeo sobre Edificaciones y Comunidades Sostenibles*, pp. 1143-1152.

Fernández, A., & Garzón, B. (10 de Noviembre de 2023). Comportamiento higrotérmico y consumo energético de un centro de salud en San Miguel de Tucumán. *Arquitecno*(22), pp. 1-9.

Fernández, J. (s.f.). *Biomasa.* Madrid: Haya Comunicación.

Lima Cochi, W. (Diciembre de 2013). Implementación de un sistema solar fotovoltaico para el centro de salud de la localidad de Charazani de la provincia Bautista Saavedra. La Paz, Bolivia. Obtenido de https://repositorio.umsa.bo/xmlui/bitstream/handle/123456789/9540/PG-1337-Lima%20Cochi%2c%20Windsor.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ministerio de Salud Pública. (2014). *Documento de medición y monitoreo de indicadores de las metas de recursos humanos para la salud en la provincia de Tucumán.*

Perdomo Delgado, D. A., Jaimes Herrera, M. T., & Almeira, J. E. (2014). La energía eólica como energía alternativa para el futuro de Colombia. *El Centauro*(9), pp. 111-120.

Pérez Martínez. (2019). Instalación de una Central Fotovoltaica en un Centro de Salud. Obtenido de https://repositorio.umsa.bo/xmlui/bitstream/handle/123456789/9540/PG-1337-Lima%20Cochi%2c%20Windsor.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Quadri, N. (2009). *Manual de aire acondicionado y calefacción.* Buenos Aires: Librería y Editorial Alsina.

Royon, F., Garibotti, M. C., Garavaglia, T., & Ronco, P. (2021). *Balance Energetico Nacional - Serie Historica - Indicadores.*

Rufes Martínez, P. (2010). *Energía solar térmica: Técnicas para su aprovechamiento.* Barcelona, España: Marcombo.

Secretaria de Energía, 2. (2021). *Balance Energetico Nacional 2021.* https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/hidrocarburos/balances-energeticos.

Seguel Sandoval, M., Améstica Rivas, L., & Radrigán Ewoldt, R. (Junio de 2021). Una apuesta sustentable en los centros de salud primaria: Una Evalución económica y social. *Universidad, Ciencia y Tecnología, 25*(109), pp. 139-147.

Urieta Lozano, J. A. (2023). Eficiencia energética en un hospital y ahorro con energías renovables. Madrid, España. Obtenido de https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/77300/TFG%20JUAN%20URIETAfirmado%20DEFINITIVO%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Yajure Ramírez, C. A., & A., G. Y. (2017). Estudio comparativo de técnicas de toma de decisiones multicriterio para la jerarquización de tecnologías de energías renovables a utilizar en la producción de electricidad. *Scientia et Technica, 22*(3), pp. 273-280.

6. AGRADECIMIENTO

Los autores de este trabajo desean agradecer a la Facultad de Ingeniería de la UNSTA, a la Secretaria académica Ing. Belén Aramayo, al decano de la Facultad Ing. Esteban Vargas y al director del CAPS de Horco Molle Dr. Gandur, como a sus administrativos y profesionales que nos abrieron las puertas para poder realizar este trabajo.

"RECUPERACIÓN DE LITIO Y COBALTO DE BATERÍAS DE ION – LITIO DE APARATOS ELECTRÓNICOS"

de los Ríos Alejandra María - Morais Marisa Alejandra - Leiva Daniel Rodolfo - Amato Alfredo - del Puerto Carla Anabella

Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas. Universidad Nacional de La Matanza
adelosrios@unlam.edu.ar; mmorais@unlam.edu.ar; dleiva@unlam.edu.ar; aamato@unlam.edu.ar; cdelpuerto@unlam.edu.ar

RESUMEN

En los debates sobre la transición energética y la necesidad de reducir la dependencia de los combustibles fósiles, el litio ha adquirido un nuevo rol. Las baterías de ion-litio (LIBs) utilizadas tanto en los automóviles como en algunos dispositivos electrónicos se han masificado. Debido a este incremento especialmente en los sectores de automoción y almacenamiento de energía, y teniendo en cuenta que la vida útil de las mismas es de tres años, el crecimiento de su uso lleva a un elevado número de residuos. Es importante resolver esta cuestión por dos motivos: 1) la disposición de los materiales de las baterías en rellenos sanitarios resulta perjudicial para el ambiente y para la salud debido a la presencia de elementos o compuestos inflamables y tóxicos, y 2) la obtención de las materias primas para su fabricación implica el consumo de recursos naturales no renovables y de alto costo económico. Este proyecto busca determinar, dentro del balance ambiental, uno de los parámetros que genera impacto ambiental en la producción de LIBs; el efecto que tendría dentro del ciclo de vida del producto, la recuperación de cobalto y litio de las baterías de ion – litio y la factibilidad económica y tecnológica de esa recuperación. En una primera etapa se descargaron las LIBs acopiadas y se recuperaron metales y plásticos. Se emplea el método de hidrometalurgia. Este tratamiento permitirá recuperar litio catión (Li^{+1}) y cobalto catión (Co^{2+}) a escala de laboratorio, reduciendo el efecto sobre el ambiente por la disposición final de las baterías de ion –litio.

Palabras Claves: batería de ion litio, cobalto, recuperación de materiales, hidrometalurgia, impacto ambiental.

ABSTRACT

In debates about the energy transition and the need to reduce dependence on fossil fuels, lithium has acquired a new role. Lithium-ion batteries (LIBs) used in both cars and some electronic devices have become widespread. Due to this increase, especially in the automotive and energy storage sectors, and taking into account that their useful life is three years, the growth in their use leads to a high number of wastes. It is important to resolve this issue for two reasons: 1) the disposal of battery materials in landfills is harmful to the environment and health due to the presence of flammable and toxic elements or compounds, and 2) obtaining the raw materials for its manufacture involves the consumption of non-renewable and high-cost natural resources. This project seeks to determine, within the environmental balance, one of the parameters that generates environmental impact in the production of LIBs; the effect that the recovery of cobalt and lithium from lithium-ion batteries would have within the product life cycle and the economic and technological feasibility of that recovery. In the first stage, the collected LIBs were unloaded and metals and plastics were recovered. The hydrometallurgy method is used. This treatment will allow the recovery of lithium cation (Li^{+1}) and cobalt cation (Co^{2+}) on a laboratory scale, reducing the effect on the environment due to the final disposal of the lithium-ion batteries.

Keywords: Lithium-ion batterie, cobalt, materials recovery, hydrometallurgy, environmental impact.

1. INTRODUCCIÓN

En los debates sobre la transición energética y sobre la necesidad de reducir la dependencia de los combustibles fósiles (Lee *et al*, 2014), el litio ha adquirido un nuevo rol con enormes expectativas, que, a su vez, ha generado distintas discusiones e iniciativas en los sectores público, privado y académico (Ge *et al*, 2014). La descarbonización de la matriz energética como horizonte de largo plazo implica un cambio estructural en los sistemas de abastecimiento y utilización de la energía. La transición energética, motorizada por la demanda de acción climática, debe ser justa, asequible y sostenible. Según el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (MAyDS), para que el sendero de descarbonización de la matriz energética argentina resulte virtuoso y sostenible en el tiempo, debe basarse en las capacidades tecnológicas y productivas del país (2022).

El futuro de la industria automotriz parece ser eminentemente eléctrico. Prácticamente todos los fabricantes de autos están desarrollando vehículos de este tipo o híbridos, con el objetivo de cumplir con las cada vez más demandantes normas de emisiones y así ayudar a combatir el calentamiento global. Es por esto que las baterías de ion-litio utilizadas tanto en los automóviles como en algunos dispositivos electrónicos se han masificado, lo que ha contribuido para que el segmento de baterías represente el 40% de la demanda del litio a nivel mundial. El crecimiento futuro de la demanda de litio se explicará principalmente por el uso de este en baterías para autos eléctricos.

El litio, es un metal alcalino y el más liviano, que como posee un bajísimo potencial de reducción no se encuentra libre en la naturaleza, sino que se halla combinado en diferentes minerales. Estas características lo han transformado en un material clave para la fabricación de baterías (portátiles) de alta densidad energética, baterías a gran escala que estabilizan redes eléctricas, y baterías para vehículos eléctricos (puros o híbridos). El litio es un componente básico de las baterías de ion litio que permite el flujo de la corriente eléctrica y hace que este componente sea muy deseado.

Las primeras baterías de ion-litio están compuestas por un electrodo positivo (cátodo) en forma de $LiCoO_2$ en el caso de las baterías recargables; un electrodo negativo (ánodo), litio en forma de metálica en baterías no recargables; un separador; y un electrolito (litio en forma de LiCl). Sin embargo, actualmente se utilizan como materiales catódicos una amplia variedad de compuestos de litio, tales como LiMn2 O4 (LMO), LiNi1-x-yMnx Coy O2 (NMC), LiFePO4 (LFP) o LiNi1-x-yCox Aly O2 (NCA) (Xu *et al*, 2008). La tasa de crecimiento más alta se espera para los cátodos de tipo NMC, que también contienen Li y Co (Lebedeva *et al*, 2016). Sin embargo, los graves inconvenientes del $LiCoO_2$ son su alto precio y la limitada disponibilidad de cobalto (Tredeau, F. 2008). En los últimos años, los vehículos eléctricos y la tecnología de redes 5G se han desarrollado rápidamente y, en consecuencia, el consumo de cobalto en baterías aumentó del 23 % en 2005 al 51 % en 2016 (Banza Lubaba Nkulu et al., 2018). Por lo tanto es muy necesaria la recuperación de cobalto.

Los electrodos inmersos en un líquido conductor (electrolito) es lo que se conoce como celda y la combinación de varias celdas forman la batería. El funcionamiento de la batería se produce en base a reacciones químicas reversibles, que producen un intercambio de iones y electrones entre sus polos, que posibilitan que la batería pueda cargarse o descargarse. Al momento de la descarga se produce una corriente eléctrica capaz de mover el motor eléctrico encargado de propulsar el vehículo, mientras que, al momento de la recarga, los iones y electrones vuelven a su situación original a partir de un aporte de energía externo, como puede ser la frenada del automóvil.

La duración, rendimiento y comportamiento de la batería depende de los elementos químicos escogidos para dar lugar a la reacción dentro de cada célula y a la electrónica que controla todo el proceso de descarga y recarga.

La parte más cara de las baterías son los materiales del cátodo, y su composición puede variar considerablemente a medida que se desarrollan nuevas tecnologías para producir baterías de ion-litio de bajo costo y alta densidad energética. (Dubois, 2020).

Hoy existen diferentes tipos de baterías de Ion-Litio como las de Litio-Cobalto (Li Co O2), Litio-Hierro-Fosfato (Li Fe P O2), Litio-Manganeso (Li Mn2 O2), Litio-Níquel-Cobalto-Manganeso y Litio-Titanio (Li4 Ti5 O12), las que tienen en común la utilización de un ánodo de Litio-Carbono, pero que se diferencian entre sí en el óxido de litio que utilizan en el cátodo, lo que hace que varíen sus características técnicas.

El reciclaje de las baterías de litio (LIBs) es un proceso complejo que se ve obstaculizado por la ausencia de un producto estandarizado en todo el mercado de LIBs, el cual presenta una amplia variedad de productos químicos y formatos de estas baterías.

Debido al incremento cada vez mayor de las baterías de ion-Li especialmente en los sectores de automoción y almacenamiento de energía, y teniendo en cuenta que la vida útil de estas baterías es de aproximadamente 3 años (Thielmann, 2013), el crecimiento de su uso lleva a un elevado número de residuos (Niu, 2014). Es importante resolver esta cuestión por dos motivos: 1) porque la disposición de los materiales de las baterías en rellenos sanitarios resulta perjudicial para el ambiente y para la salud debido a la presencia de elementos o compuestos inflamables y tóxicos, y 2) porque la obtención de las materias primas para la fabricación de las mismas implica el consumo de recursos naturales no renovables y de alto costo económico 3) el precio del cobalto es muy alto y su disponibilidad es muy baja. Los metales lixiviados de los LIBs pueden exhibir diversos grados de toxicidad para los humanos, atacar diferentes órganos y tener diferentes mecanismos de acción (Winslow y Townsend, 2018). El litio se dirige principalmente al sistema nervioso central y el cobalto es potencialmente cancerígeno para los humanos. Por otro lado, cobre, hierro y níquel han sido implicados en la generación de especies reactivas de oxígeno, que se sabe que causan daño al ADN (Winslow y Townsend, 2018).

2. MARCO TEÓRICO

Un sistema energético impulsado por tecnologías de energía limpia difiere profundamente de uno alimentado por recursos de hidrocarburos tradicionales. Los minerales críticos como el cobre, el litio, el níquel, el cobalto y los elementos de tierras raras son componentes esenciales en muchas de las tecnologías de energía limpia de rápido crecimiento en la actualidad, como los vehículos eléctricos.

Las baterías de ion – litio se están imponiendo a otras como las de plomo-ácido o metal-níquel debido a que su voltaje, densidad energética, potencia específica, carga utilizable, eficiencia de recarga y ciclo de vida es superior, a la vez que tienen un índice de descarga inferior. Sin embargo, estas tienen una menor robustez ante variaciones de voltaje, lo que obliga a incorporar costosos sistemas de gestión de las baterías para su protección y correcto funcionamiento. Lo que sumado a su propia composición química incrementa su costo de producción. Un elemento clave en el desarrollo de los vehículos eléctricos.

Los vehículos eléctricos generalmente requieren minerales más críticos para construir que sus contrapartes basadas en combustibles fósiles. Los tipos de recursos minerales utilizados varían según la tecnología. El litio, el níquel, el cobalto, el manganeso y el grafito son cruciales para el rendimiento de la batería. Estas baterías también son utilizadas en plantas solares fotovoltaicas y en parques eólicos, además que en vehículos eléctricos. En consecuencia, el consumo mundial de litio ha aumentado un 33% desde 2018 (Balasubramaniam, B et al, 2020). El litio no es el único material que puede limitar la fabricación de estas baterías. El ánodo y el cátodo de las baterías contienen materiales que también están sujetos a una posible escasez de suministro, como el cobalto y el níquel.

Por otro lado, el mundo espera la eliminación del plomo para promover el cuidado ambiental. Pero las baterías de plomo siguen teniendo éxito económico debido a las altas tasas de reciclaje. Esto no ha funcionado con las baterías de litio, en parte porque existen diferentes formatos y porque la tecnología de las baterías de litio cambia rápidamente. Pero superar estos retos de reciclaje es una necesidad. Las baterías de litio contienen más energía en un paquete más pequeño en comparación con las baterías de plomo-ácido. Son cruciales para descarbonizar el transporte y permitir una transición generalizada a la energía renovable, ya que ayudan a garantizar un suministro predecible de energía eólica y solar, que de otro modo sería intermitente.

En la actualidad se estima que en Argentina existen en el mercado 40 millones de celulares y alrededor de 11 millones de notebook que utilizan LIBs como fuente de energía (Sambeth, 2021). Considerando que la vida media de estas baterías es de aproximadamente de 3 años, que Argentina no es productora de LIBs y teniendo en cuenta que el INTI no certifica las baterías de LIBs que se importan (Ley 23184/2016-resolución 443/20) se torna sumamente importante el tratamiento de los residuos generados por el uso de estas baterías. Los materiales recuperados pueden ser utilizados para la fabricación de nuevas baterías o sustituir a materias primas convencionales e introducirse en otros sectores productivos. Tal es el caso de la recuperación de sulfato de cobalto (II) ($CoSO_4$) que se utiliza como suplemento nutricional en la agricultura (Mineev ***et al***, 2017). Por otro lado, la facilidad con la que se puede obtener sulfato de litio (Li_2SO_4) con un alto grado de pureza lo convierte en un material accesible para múltiples aplicaciones (K. Boophati y col., 2012; Puppalwar y col., 2010). El Li_2SO_4 es un material aislante con una banda ancha de energía prohibida a temperatura lo cual lo hace buen candidato a diversas aplicaciones (Castro Campoy, 2017).

3. PROCEDIMIENTO

La primera etapa del proyecto requirió del acopio y clasificación de baterías de ion – litio. Con el propósito de recuperar las LIBs nos pusimos en contacto con el municipio y centros de acopio.

Durante el trabajo en el laboratorio se descargaron las LIBs y a continuación, se verificó si la descarga había sido efectiva con la ayuda de multímetros. Al finalizar la descarga, se las desmanteló para conocer su composición y sus características internas. Así se procedió a la separación manual de carcasa, ánodo y cátodo con el uso de herramientas tales como destornilladores, púas de guitarra para abrir la carcasa. Se recuperaron metales y plásticos. Los mismos fueron pesados y clasificados. Se identificaron 3 grupos de elementos: 1) material externo constituido por una cubierta compuesto de plástico y papel en el cual va la información de la batería como fabricante, referencia, condiciones de operación entre otros; también hacen parte de este grupo la carcasa metálica dentro de la que se encuentran los electrodos la cual comúnmente es de aluminio pero puede también encontrarse carcasas en acero y, por último una pieza de plástico donde van incrustados los contactos de cobre de la batería; 2) un elemento polimérico que se encontraba separando el ánodo y cátodo de la batería a manera de membrana; 3) los electrodos de la batería que a su vez se subdividen en el material anódico que se encuentra adherido a un sustrato de cobre y el material catódico que se encuentra adherido a un sustrato de aluminio. Se debió retirar manualmente el material anódico y catódico de sus respectivas cubiertas. Dado que el cobalto se encuentra localizado en el cátodo de la batería, el análisis subsiguiente deberá centrarse en esta porción de la batería.

Es importante resaltar que durante la apertura manual de las baterías es posible encontrar vapores de carácter orgánico, por ello que se hace necesario hacer dicho proceso ya sea en un lugar bien ventilado o dentro de una cámara de extracción, utilizando los equipos de protección personal adecuados. Los materiales descartados en esta investigación, es decir los que hacen parte de los dos primeros grupos descritos, tiene un alto potencial de ser revalorizados de manera separada y reincorporarlos a los procesos productivos, generando así que la batería sea aprovechada en su totalidad. El caso de la carcasa metálica, se puede recuperar por métodos tradicionales de gestión de chatarra a través de la fusión del metal para la producción de nuevos elementos. Se encontró en la bibliografía que el material polimérico puede ser recuperado para la producción de bio-combustibles, generación de syngas u otras alternativas que actualmente se están desarrollando a nivel mundial.

Dado que, tanto el ánodo como el cátodo, están recubiertos con el polímero llamado fluoruro vinilideno $(C_2H_2F_2)n$ conocido como PVDF que garantiza una excelente resistencia a la corrosión y a la abrasión, es generalmente inerte a la mayor parte de ácidos y bases inorgánicos, ácidos orgánicos, se hizo necesario retirarlo. Con ese objetivo se empleó NMP (N-metilpirrolidona). Se trata de un disolvente orgánico polar, de fórmula C_5H_9NO miscible con agua y con los disolventes orgánicos más comunes. Por esta razón permite disolver el PVDF, retirar el solvente que rodea a los electrodos y facilita la disolución de los iones Li^+ y Co^{2+}. Al tener un punto de ebullición alto (baja volatilidad), ser química y térmicamente estable, y no es corrosivo permite la calcinación del polvo del cátodo sin riesgos de toxicidad ni inflamabilidad.
Una vez desmantelado el cátodo serán tratados con NMP (N-metil – 2 - pirrolidona) a 100°C durante 1 hora. El material activo del cátodo será separado y se podrá recuperar cobre y aluminio. El NMP podrá ser usado en los siguientes procesos. Después de secar a 60°C durante 24 horas, el tratamiento térmico será necesario para eliminar el carbono y el PVDF (solvente) en el cátodo. El cátodo se recoge y se calcina a 700°C por 5 horas en una mufla y se enfría a temperatura ambiente. El tamaño pequeño de las partículas favorece el proceso de lixiviación. Luego se realizó la lixiviación con ácido cítrico 1,25M, y solución de H_2O_2 al 1% a 90°C a durante 30 minutos manteniendo una relación S:L de 20 g/L.
El objetivo de nuestro trabajo que aún está en desarrollo es separar el cobalto (Co) y el litio (Li) por métodos físicos y químicos. Entre ellos se pueden mencionar extracción de solventes con NMP, molienda, calcinación, tamización (200 μm), reducción, lixiviación, filtración y precipitación

El líquido lixiviado resultante deberá ser almacenados para su posterior análisis físico – químico. Será necesaria la determinación de las concentraciones de metales no recuperados en estas aguas residuales (Ni, Cu, Fe y Mn) por espectrometría de absorción atómica.

3.1. Elección del método y el solvente para extraer Cobalto

Con el objetivo de recuperar el cobalto y el litio hemos elegido la hidrometalurgia debido a que no produce gases tóxicos y permite rescatar incluso el grafito. Además, permite recupera los elementos con una calidad suficiente como para poder ser reutilizados, fomentando la economía circular. Este

método requiere inicialmente la lixiviación de los metales que están en la batería, donde los de mayor valor se encuentran en el cátodo de la misma. Este proceso frecuentemente se hace a partir de ácidos como el sulfúrico, clorhídrico y nítrico, dado que son los que reportan una alta tasa de extracción para separar los metales del resto de la estructura de la batería, especialmente del grafito presente en los electrodos ((Xu et al., 2008). Cuando se realiza el proceso de lixiviación usando ácidos fuertes se logra recuperar más del 99% de Li y Co. Sin embargo, se liberan sustancias que son una amenaza para el medioambiente tales como Cl_2, SO_3 y NOx durante la lixiviación.

El proceso de extracción por solventes es un proceso relativamente simple desde su operación dado que no involucra condiciones como altas temperaturas u equipos con controles operacionales complejos y por ende sus consumos de energía tienden a ser bajos, pero en contraposición tienen un número de etapas y procesos que aumentarán en relación al número de metales que se quieran separar con un alto grado de pureza. Adicionalmente, aunque los solventes usados en los diferentes métodos pueden ser recuperados y regenerados para usarse un número finito de veces, este tipo de procedimientos suelen ser inviables debido al alto costo que tienen los solventes y por tanto no son escalables industrialmente (Xu et al., 2008).

También se ha investigado el uso de ácidos orgánicos como el ácido ascórbico (Li, L. et al., 2012) y ácido cítrico o maleico (Zhang, T. et al, 2014) como medios alternativos, menos costosos y más amigables con el ambiente. El ácido cítrico es un ácido orgánico que se disuelve fácilmente en agua. Sonmez and Kumar (2015) estudiaron el uso de este ácido para recuperar Pb y PbO a partir de chatarra de baterías y Li *et a*l (2009) recuperaron Li^+ y Co^{2+} por este mismo método. Se trata de un ácido natural y biodegradable tanto en condiciones aeróbicas como anaeróbicas. El remanente del ácido cítrico puede ser reciclado y reutilizado en una siguiente lixiviación. Por lo expuesto anteriormente consideramos que el ácido más conveniente a emplear es el ácido cítrico.

3. RESULTADOS PRELIMINARES

Actualmente se está llevando a cabo la descarga de las LIB´s con una solución de NaCl al 5%, el desmantelamiento, la recuperación de aluminio y cobre. Se planea en breve poner a prueba la extracción utilizando ácido cítrico.

El tratamiento por estos métodos físico – químicos permitirá recuperar litio catión (Li^{+1}) y cobalto catión (Co^{2+}) a escala de laboratorio reduciendo el impacto ambiental ocasionado por la disposición final de las baterías de ion –litio, reduciendo los residuos sólidos urbanos, recuperando residuos útiles a fin de disminuir la contaminación.

El líquido lixiviado resultante deberá ser almacenado para su posterior análisis físico – químico. Será necesaria la determinación de las concentraciones de metales no recuperados en estas aguas residuales (Ni, Cu, Fe y Mn) por espectrometría de absorción atómica.

4. CONCLUSIÓN

Hemos podido recuperar aluminio y cobre del cátodo y del ánodo respectivamente. Conseguimos descargar la LIBs exitosamente mediante inmersión durante 24 horas en una solución al 5% de NaCl y desmantelado el cátodo y el ánodo. Nuestra investigación nos permitió elegir a NMP para extraer el solvente PVDF y, de esta manera, evitar riesgos durante la calcinación posterior. EL NMP tiene un alto punto de ebullición, no es tóxico ni inflamable, lo que posibilitó la calcinación del material adherido al aluminio en el cátodo durante 5 horas a 700 °C. Al finalizar este proceso, hemos obtenido un sólido negro finamente dividido por molienda.

En las próximas etapas debemos seleccionar un tamiz de 200μm para optimizar la posterior reducción con H_2O_2 y lixiviación con ácido cítrico.

5. REFERENCIAS

Balasubramaniam, B.; Singh, N.; Verma, S.; Gupta, R. K. (2020): Recycling of Lithium From Li-ion Batteries. In: Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials: Elsevier, pp. 546 554. Online available at https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128035818107647

Banza Lubaba Nkulu, C.; Casas, L.; Haufroid, V.; De Putter, T.; Saenen, ND.; Kayembe-Kitenge, T.; Musa Obadia, P.; Kyanika Wa Mukoma, D.; Lunda Ilunga, J.-M.; Nawrot, TS.; Luboya Numbi, O.;

Smolders, E.; Nemery, B. Sostenibilidad de la minería artesanal de cobalto en RD Congo. Nat. Sostener. 2018, 1 (9), págs. 495 – 504

Boopathi, K y Ramasamy, P., 2012. Groeth of negative solubility lithiun sulfate monohydrate cristal by slow evaporation and Sakaranarayanan-Ramasamy method. Jorunal of Crystal Growth 345, J-6.

Castro Campoy, A. B., 2017. Síntesis y Caracterización Termoluminescente de Li_2SO_4: Eu. Tesis para obtener el título de Maestro en Ciencias de los materiales. Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México.

Dell, R. M. y Rand, D. A. J. 2001. Undertanding batteries. Royal Society of Chemistry.

Dubois, F.; Sambeth, J. y Peluso, M. 2020. Reciclado de baterías de ión-Li agotadas. Aplicaciones tecnológicas de los metales recuperados. El litio en Argentina. UNLP. Cap 13.

Lee, A.; Urban, X.; Li, D.; Su, G.; Hautier, L. and Ceder, G. 2014. “Unlocking the Potential of Cation-Disordered Oxides for Rechargeable Lithium Batteries,” Science (80), vol. 343, no. 6170, pp. 519–522.

Li, L., Ge, J., Wu, F., Chen, R., Chen, S., & Wu, B. 2010. Recovery of cobalt and lithium from spent lithium ion batteries using organic citric acid as leachant. Journal of Hazardous Materials, 176, 288–293. doi:10.1016/j.jhazmat.2009.11.026

Linden, D. y Reddy, T. B. 2002. Handbook of batteries. 3° edición.

Mineev, V.G. Sychev, V.G.; Gamzikov G.P. et al. 2017. Instituto Panruso de Investigación Agroquímica D.N. Pryanishnikov, Moscú. 854 p.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la República Argentina (MAyDS), 2022. Plan Nacional de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático.

Niu, Z.; Zou, Y.; Xin, B.; Chen, S.; Liu, C. and Li, Y. 2014. “Process controls for improving bioleaching performance of both Li and Co from spent lithium ion batteries at high pulp density and its thermodynamics and kinetics exploration.,” Chemosphere, vol. 109, no. 2014, pp. 92–98.

Park, C. M.; Kim, J. H.; Kim, H. y Sohn, H. J. 2010. Materiales anódicos en base de aleación de litio para baterías secundarias de Li. Chemical Society Reviews. Issue 8.

Puppalwar, S. J. y Dhoble and Animesh Kumar, 2010. Improvenment of photoluminescence of Cu^{+1} ion in Li_2SO_4. Luminescence 26, 456-46.

Sonmez, M.S. y Kumar, R.V. 2015. Leaching of waste battery paste components. Part 2: Leaching and desulphurisationof PbS4 by citric acid and sodium citrate solution. Hydrometallurgy 95 pp 82–86.

Winslow, K. M.; Laux, S. J. and Townsend, T. G. 2018. “A review on the growing concern and potential management strategies of waste lithium-ion batteries,” Resour. Conserv. Recycl., vol. 129, pp. 263–277

Thielmann, A.; Isenmann, R.; Wietschel, M. 2013. “Product roadmaP Lithium-ion Batteries 2030,” Fraunhofer Inst. Syst. Innov. Res. ISI., p. 20.

Tredeau, F.P.; Kim, B.G.; Salameh, Z.M.: Performance evaluation of Lithium Cobalt cells and the suitability for use in electric vehicles. In: Vehicle Power and Propulsion Conference. 2008.

Xu, J.; Thomas, H. R.; Francis, R. W.; Lum, K. R.; Wang, J.; Liang, B. 2008. A review of processes and technologies for the recycling of lithium-ion secondary batteries. In: Journal of Power Sources 177 (2), pp. 512–527. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2007.11.074.

Yagodin B.A., Zhukov U.P., Kobzarenko V.I. 2002. Agrochemistry / Editado por B.A. Yagodin. Moscú, Kolos. 584 p.

Zhang, T.; He, Y.; Wang, F.; Ge, L.; Zhu, X. and Li, H. 2014. “Chemical and process mineralogical characterizations of spent lithium-ion batteries: An approach by multi-analytical techniques,” Waste Manag., vol. 34, no. 6, pp. 1051–1058.

[6] J. Xu, H. R. Thomas, R. W. Francis, K. R. Lum, J. Wang, and B. Liang, “A review of processes and technologies for the recycling of lithium-ion secondary batteries,” J. Power Sources, vol. 177, no. 2, pp. 512–527, Mar. 2008.

N. Lebedeva, F. Di Persio, and L. Boon-Brett, Lithium ion battery value chain and related opportunities for Europe, vol. EUR 28534. 2016.

"BRIQUETAS DE BIOMASA, UNA EXPERIENCIA EN TERRITORIO"

Bueno, Moisés Evaristo – Dos Reis, María Rosa

Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires
moisesbueno@gmail.com; mrosadosreis@intia.exa.unicen.edu.ar

RESUMEN

El trabajo presenta una posible solución al problema de la calefacción en sectores vulnerables y establecimientos rurales a través de la gestión de residuos de biomasa; detallando una experiencia piloto, analizando ventajas y desventajas de la solución hallada.
Como antecedente, Bueno y Dos Reis en el Congreso Internacional de Ingeniería Industrial 2022; mostraron la posibilidad de creación de briquetas de biomasa como alternativa de energía sustentable económica, en la gestión del arbolado urbano.
La ejecución de la prueba piloto se realizó en el año 2023, en la EES N° 16 de Tandil, con el objetivo de lograr un modelo productivo en territorio para elaborar briquetas de biomasa.
Se realizó un relevamiento de las familias de la comunidad de la escuela para determinar los métodos usados en la calefacción de las viviendas, y el grado de vulnerabilidad al que quedaban expuestas las familias de los alumnos, al evaluar los costos en calefacción. Posteriormente, se trabajó en un modelo productivo de construcción de una máquina briqueteadora estilo "hogareña", para luego ejecutar pruebas de producción de briquetas con residuos de poda y aserrín.
Los resultados presentados en el trabajo, en dimensión ambiental, educacional y económica-social, resaltan la capacitación en la utilización y creación de briquetas de biomasa para cocción y/o calefacción a los alumnos de la escuela, que transmiten su conocimiento a las familias y concientizan en el cuidado del medio ambiente.

Palabras Claves: Briquetas. Biomasa. Energía Renovable.

ABSTRACT

The work presents a possible solution to the problem of heating in vulnerable sectors and rural establishments through the management of biomass waste; detailing a pilot experience, analyzing advantages and disadvantages of the solution found.

As background, Bueno and Dos Reis at the International Congress of Industrial Engineering 2022; showed the possibility of creating biomass briquettes as an economical sustainable energy alternative in the management of urban trees.

The execution of the pilot test was carried out in 2023, at EES No. 16 of Tandil, with the objective of achieving a productive model in the territory to produce biomass briquettes.

A survey of the families of the school community was carried out to determine the methods used to heat the homes, and the degree of vulnerability to which the students' families were exposed, when evaluating the heating costs. Subsequently, work was carried out on a production model for the construction of a "home" style briquetting machine, and then tests were carried out to produce briquettes with pruning waste and sawdust.

The results presented in the work, in environmental, educational and economic-social dimensions, highlight the training in the use and creation of biomass briquettes for cooking and/or heating to school students, who transmit their knowledge to families and raise awareness about caring for the environment.

Keywords: Briquettes. Biomass. Renewable Energy**.**

1. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se presenta y documenta una experiencia piloto, ejecutada en la ciudad de Tandil, que brinda una posible solución al problema de la calefacción en sectores vulnerables y establecimientos rurales a través de la gestión de residuos de biomasa.

Una briqueta se define formalmente como “1. f. Conglomerado de carbón u otra materia en forma de ladrillo.” (Real Academia Española, 2024) y se entiende por biomasa “2. f. Biol. Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.” (Real Academia Española, 2024). En el alcance de este proyecto, una briqueta de biomasa es un conglomerado prensado de biomasa compuesta por restos de podas, aserrín, cartón, papel, etc., con forma de ladrillo (pero puede ser de otra forma geométrica) que tiene como fin utilizarse como complemento o suplemento de la leña para generar energía a través de su combustión.

La utilización de briquetas de biomasa en la experiencia piloto expuso diferentes contingencias y esto se registra analizando ventajas y desventajas de la solución hallada.

Los antecedentes del trabajo fueron expuestos por Bueno y Dos Reis en artículos precedentes; en los cuales se mostró la posibilidad de creación de briquetas de biomasa como alternativa de energía sustentable económica, en la gestión del arbolado urbano (Bueno y Dos Reis, 2022), y, se planteó el desafío operativo que constituiría la creación de un modelo productivo económico de briquetas de biomasa (Bueno y Dos Reis, 2023).

La ejecución de la prueba piloto se realizó en el año 2023, en la EES N° 16 de Tandil, con el objetivo de lograr un modelo productivo en territorio para elaborar briquetas de biomasa.

Previamente, se realizó un relevamiento de las familias de la comunidad de la escuela para determinar los métodos usados en la calefacción de las viviendas, y el grado de vulnerabilidad al que quedaban expuestas las familias de los alumnos, al momento de evaluar los costos en calefacción. Luego, se trabajó en un modelo productivo de construcción de una máquina briqueteadora estilo “hogareña”, y prontamente, se logró ejecutar pruebas de producción de briquetas con residuos de poda y aserrín.

Los resultados presentados en el trabajo, analizados desde sus dimensiones ambiental, educacional y económica-social, resaltan la capacitación en la utilización y creación de briquetas de biomasa para cocción y/o calefacción a los alumnos de la escuela, quienes transmiten su conocimiento a las familias y concientizan en el cuidado del medio ambiente.

1.1. Situación inicial.

La utilización de leña como método de calefacción y/o cocción en sectores más vulnerables es uno de los sistemas más utilizado en todo el mundo, en especial en países en desarrollo. Así mismo, la utilización de leña como sistema de calefacción resulta de altos costos, no solo económicos para las familias, sino que también suele 'depredar' el medio ambiente y causar efectos adversos al hábitat

En Argentina, “Solo el 1% de los 6467 barrios populares del país tiene conexión a la red de gas; por eso, la mayoría usa leña para calefaccionar su casa; por el precio de la tonelada, muchos salen a buscar madera de descarte” (Oliva, 2024).

Para analizar la situación inicial, se realizó una encuesta en territorio que permitiría determinar si realmente en esta zona también se sigue esta premisa, y qué tan costoso es el sistema para las familias involucradas.

La encuesta se realizó con un cuestionario estructurado, dirigido a los alumnos de la Escuela de Educación Secundaria N°16 de Cerro Leones (Tandil) en 2023; y sobre un total de 140 alumnos, el 58% declararon que la principal forma de calefacción utilizada en sus hogares es la leña. Si se considera que 1 tonelada de leña puede rendir 1 mes y medio, y, que el costo de la misma ronda los $50.000; ello significa que al menos unos $100.000 serán necesarios para los tres meses invernales y, para ubicarlo en contexto con la economía familiar; esto representa un gasto mensual de $33.000 aproximadamente equivalente a un 15% del valor de una canasta básica tipo 2 establecida en $217.915,79, según datos del mes de julio del 2023 (Bueno y Dos Reis, 2023). A valores de julio del 2024, el valor de la canasta básica tipo 2 ascendió a $900.647,65 y la tonelada de eucalipto ronda los $150.000; pudiéndose apreciar que se mantiene aproximada la estructura de gastos (Indec, 2024).

Además de lo analizado en cuanto a costos incurridos en leña se relevó en qué artefactos es utilizada la leña y resultó que mayormente por medio de salamandras. Este dato es importante ya que acota el tamaño y finalidad a cubrir de las briquetas de biomasa.

En territorio se realizó un mapeo de fuentes de biomasa como materia prima, recolección y acopio de biomasa en las casas de los alumnos y en la misma escuela. Se trabajó en relevamiento, diagramación y delimitación de lugares físicos de la EES N°16 para almacenamiento de materia prima, productos en proceso de fabricación, espacio para la máquina briqueteadora y zona de secado de las briquetas previo a su almacenamiento, uso o distribución.

2. DESARROLLO DEL PROCESO PRODUCTIVO.

Con el objetivo de plantear un modelo productivo económico y social para calefacción y/o cocción con briquetas de biomasa se muestra en detalle el proceso productivo logrado.

2.1. Equipamiento e insumos necesarios para la realización de briquetas.

En primera instancia, se diseñaron y construyeron las diferentes herramientas, máquinas, estanterías, etc. para realizar briquetas considerando todas sus etapas.

La mezcla de biomasa utilizada estuvo integrada de agua, cartón y papel trozado, restos de poda, hojas, ramitas, pasto, todos los componentes bien ‘chipeados’ o triturados y, se completó con aserrín. Las proporciones aproximadas usadas fueron 1/3 de agua y 2/3 de biomasa; y de esos 2/3 de biomasa se incorporó el aserrín necesario como aglutinante que se lo fue agregando conforme se iba revolviendo.

Los contenedores utilizados fueron latas plásticas de 20 litros.

La mezcla, luego se somete a batido o revuelto mediante una cuchilla dentada, impulsada por un motor eléctrico.

Es importante resaltar que la utilización del motor eléctrico no es imprescindible debido a que la mezcla puede ser batida y todos los componentes ser triturados en forma manual; pero para hacer más rápido y eficiente el proceso de creación de la mezcla y facilitar la tarea de los alumnos que desarrollaron la experiencia, se decidió utilizar el motor eléctrico.

La máquina briqueteadora (Figura 1) fabricada está realizada íntegramente en metal y utiliza un criquet ‘tijera’ de auto para realizar la fuerza de compactación de biomasa en un molde.



Figura 1 Máquina briqueteadora.

El molde (Figura 2) utilizado permite generar una briqueta de biomasa del tamaño de un ladrillo con un hueco cilíndrico en el medio.

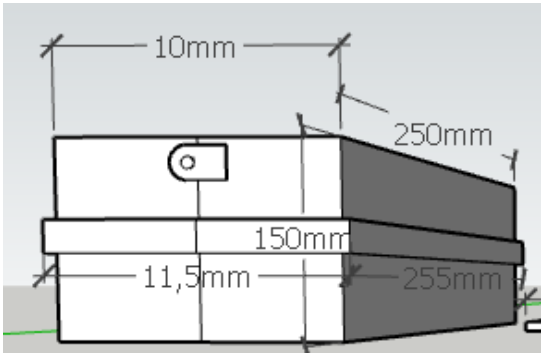


Figura 2 Representación del molde utilizado para realizar briquetas.

2.2. Producción en territorio.

La Escuela de Educación Secundaria N° 16 se encuentra en la zona de Cerro Leones, barrio periurbano de la ciudad de Tandil a unos 10 km del centro de la ciudad. La institución cuenta en sus instalaciones con un horno de barro utilizado ocasionalmente para cocina piza y pan casero con el objeto de venderlo para juntar fondos, hacer meriendas o ayudar a las familias de los alumnos.

En base al conocimiento de los resultados de la encuesta, donde se evidenciara el uso de leña como medio de calefacción, y utilizando como fortaleza de la existencia del horno de barro; se propuso como objetivo práctico didáctico, cocinar en el horno de barro de la escuela con briquetas de biomasa que los mismos alumnos elaboraran.

Para la experiencia se estableció que los alumnos de 5to y 6to año llevarían a cabo el proyecto, tutorados por docentes de la escuela y además supervisados por un equipo de profesores y alumnos de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNICEN, esto también permitiría que los alumnos de los últimos años de la secundaria de un sector vulnerable de la ciudad, entraran en contacto con el ambiente universitario

Durante el desarrollo de la experiencia se trabajó conjuntamente con los alumnos y el equipo docente, en forma interdisciplinar, en el cuidado del medio ambiente, la utilización responsable de la energía, la utilización de biomasa como energía, la importancia del cuidado del hábitat del barrio y, fundamentalmente; en la elaboración y fabricación de briquetas.

El proceso de fabricación se evaluó en forma continua, considerando los tiempos empleados en las distintas etapas, consultando y relevando aportes de los mismos alumnos en la mejora del proceso.

En cuanto a los tiempos resultantes de la experiencia, y en forma de resumen, se puede establecer que se incurren hasta 3 días para la elaboración de la pasta, revolviendo habitualmente y, claramente se acelera el proceso con la utilización del motor eléctrico, pudiendo lograrse mezclas que directamente sean utilizadas para fabricar briquetas en el mismo día.

El proceso (Figura 3) de elaboración de la briqueta se definió en los siguientes pasos:

- Completar de biomasa el molde hasta la mitad
- Colocar el caño cilíndrico que hará el hueco.
- Completar de biomasa hasta el tope del molde.
- Colocar el pistón y ubicar en línea molde, pistón y criquet.
- Realizar la compactación. El criquet empujará al pisón hasta la mitad de profundidad del molde y se escurrirá agua de la mezcla.
- Levantar el criquet de tal forma que se pueda quitar el pistón.
- Desmoldar la briqueta y quitar el caño cilíndrico.
- Colocar en un lugar seguro donde pueda realizarse su secado.



Figura 3 Alumnos realizando el proceso productivo de briquetas.

El tiempo empleado para el proceso de elaboración de una briqueta por parte de los alumnos es de 25 segundos.

En cuanto al aprovechamiento de materiales en el proceso, se resalta que el agua que se escurre de la compactación es reutilizada, ya que la misma es contenida por una bandeja que hace de base del molde la cual desagota en una lata de 20 litros que se ubica en la parte baja de la briqueteadora.

Una desventaja observada por los alumnos es que el recorrido del criquet era más largo de lo estrictamente necesario, y lo solucionaron suplementando el pistón con un taco de madera a fin de disminuir el recorrido. Además, quedó demostrado que, si bien el criquet compacta con facilidad y hasta se puede decir que tiene capacidad ociosa de fuerza de compactación, resulta que el uso intensivo del mismo lo afecta y comienza a presentar desbalanceo o movimientos laterales innecesarios.

La briqueta lograda es de aproximadamente 10 cm x 25 cm x 8 cm y pesa 1,2 kg. con un hueco cilíndrico trasversal de 1,8 cm de diámetro que, dependiendo de las condiciones del clima y lugar de secado, en unos 7 días se la puede utilizar.

El proceso productivo en territorio logró el objetivo propuesto, efectivamente los alumnos cocinaron piza y pan casero en el horno de barro (Figura 4).



Figura 4 Utilización de briquetas como combustible para horno de barro.

3. VINCULACION CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS).

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible son 17 objetivos globales interconectados diseñados en un plan para lograr un futuro mejor y más sostenible para todos. Los ODS fueron establecidos en 2015 por la Asamblea General de las Naciones Unidas y se pretende alcanzarlos para 2030 (ONU, 2024).
Analizando el objetivo y la manera de llevar a cabo este proyecto, se pueden conectar varios ODS, que se describen a continuación:

Objetivo 1, fin de la pobreza: partiendo desde el punto que la pobreza es una condición en la que las personas carecen de los recursos necesarios para satisfacer sus necesidades básicas y disfrutar de un nivel de vida adecuado, y considerando que el proyecto está orientado a familias con dificultad para acceder a calefacción, podemos decir que el proyecto se vincula con este objetivo.

Objetivo 3, salud y bienestar: su objetivo es garantizar una vida sana y promover el bienestar de todos a todas las edades, este proyecto apunta a lo segundo, donde se busca que diversas familias, en principio de alumnos de las escuelas rurales, tengan acceso a calefacción en sus hogares.

Objetivo 7, energía asequible y no contaminante: El uso de briquetas como fuente de energía renovable puede contribuir a asegurar el acceso a una energía asequible, confiable, sostenible y moderna. Al reemplazar combustibles fósiles, como la leña o el carbón, las briquetas pueden ayudar a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la calidad del aire.

Objetivo 12, producción y consumo responsables: El uso de briquetas de biomasa puede promover prácticas más sostenibles en la producción y el consumo de energía. Al utilizar biomasa residual para la fabricación de estas, se fomenta la reducción de residuos y la valorización de materiales orgánicos.

Objetivo 13, acción por el clima: con este proyecto, además de llevar calefacción a los hogares, al reemplazar combustibles fósiles con briquetas de biomasa, se pueden reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y contribuir a la mitigación del cambio climático.

Objetivo 15, vida de ecosistemas terrestres: Al utilizar briquetas en lugar de leña o carbón tradicional, se puede reducir la deforestación y la degradación de los bosques, ya que la biomasa utilizada en las briquetas proviene de fuentes sostenibles y evitar la tala indiscriminada de árboles.

4. CONCLUSIONES.

La experiencia en territorio llevada a cabo durante el año 2023 en la EES N° 16 de Tandil, con el objetivo de lograr un modelo productivo que permitiera elaborar briquetas de biomasa haciendo énfasis en la mejora de la economía y calidad de vida de los sectores vulnerables, tuvo resultados altamente beneficiosos desde las diferentes dimensiones del proyecto.

Desde el punto de vista económico productivo, estamos ante la presencia de una experiencia piloto de inicio de desarrollo de un nuevo producto para ser utilizado con fines energéticos y sociales: briqueta de biomasa. También en este sentido, se trabajó en el diseño y construcción de una máquina de elaboración de briquetas con fines hogareños (no industrial).

El modelo productivo propuesto incluyó la fabricación de la maquina briqueteadora, las herramientas de fabricación, las composiciones de posibles mezclas de biomasa, la elaboración de briquetas y su acopio para secado. Durante el proceso se trabajó la generación de conciencia en el cuidado del medio ambiente y la utilización de energía renovable; cuestiones que permiten resaltar las ventajas del proyecto en la educación medio ambiental. Además, fueron los mismos alumnos quienes realizaron aportes para mejorar los tiempos y eficiencia en la producción de briquetas, lo que generó un compromiso mayor con el proyecto.

Desde la dimensión socio económica familiar, el relevamiento permitió conocer la realidad existente en las familias del barrio en términos de energía utilizada para calefaccionarse y/o cocinar, así como el análisis de costos involucrados, y el desconocimiento existente en la posible utilización de briquetas de biomasa como alternativa. Por otra parte, la posibilidad de fabricación de briquetas en la escuela, que luego fueran utilizadas en el hogar, resultó en un gran aporte del proyecto hacia la perspectiva social de las familias.

Desde una perspectiva socio educativa se pudo visibilizar cómo el aporte de diferentes niveles educativos trabajando en un proyecto educativo inter-disciplinar, puede construir valor en el capital social generado.

Finalmente, efectivamente se logró cocinar piza y pan casero en el horno de barro de la EES N°16 utilizando briquetas de biomasa, producidas por los mismos alumnos.

4. REFERENCIAS.

Bueno, M., Dos Reis, M. (2022): “Gestión de Arbolado Urbano del Partido de Tandil”. XV Congreso Internacional de Ingeniería Industrial y Afines: Libro de Resúmenes; Compilación de Antonio Oscar Morcela ... [et al.]. 1a ed. Mar del Plata. ISBN 978-987-811-066-0

Bueno, M., Dos Reis, M. (2023): “Briqueta de biomasa. Una alternativa de energía sustentable económica”. Anales del Congreso Internacional XXXVI Encuentro Nacional de Docentes en Investigación Operativa XXXIV Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa / Micaela A. Abade ... [et al.]. 1º ed. compendiada. Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa. Tandil. ISBN 978-987-47251-4-1

Indec (2024): “Valorización mensual de la canasta básica alimentaria y de la canasta básica total”. Ministerio de Condiciones de vida. Vol. 8, n° 18. Economía. Recuperado el día: 25/08/2024. https://www.indec.gob.ar/uploads/informesdeprensa/canasta_08_244AFA4FC41A.pdf

Oliva, L. (2024). Desde quemar leña en braseros hasta abrigarse para dormir: cómo se combate el frío polar en los barrios populares. La Nación digital. 12 de julio. Sitio web: https://www.lanacion.com.ar/comunidad/desde-quemar-lena-en-braseros-hasta-abrigarse-para-dormir-como-se-combate-el-frio-polar-en-los-nid12072024/. Recuperado el día: 25/08/2024.

ONU (2024): Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS). Naciones Unidas. Sitio Web: https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/. Recuperado el día: 25/08/2024.

Real Academia Española (2024): Diccionario de Lengua Española. Sitio Web: https://dle.rae.es/. Recuperado el día: 25/08/2024

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer a:

- Walter Arias, director de la EES N° 16 de Tandil en el momento de la realización de la experiencia.
- La Escuela Técnica N° 1, quien colaboró con la fabricación y montaje de la briqueteadora.
- La Secretaría de Extensión de la Facultad de Ciencias Exactas, quien facilitó los mecanismos de difusión de la experiencia, traslado de maquinaria y alumnos en actividades en territorio.

INDUSTRIALIZACIÓN PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA VIVIENDA. DISEÑO Y PRODUCCIÓN DE PANELES SOLARES DE AIRE CALIENTE.

Wadel, Gerardo[1]; Dido Claudia[1], Mieres, Franco[1]; Oliva, Jorge[2], Balbi, Lucía[1]

[1]*Facultad Regional Trenque Lauquen UTN*
gerardo.wadel@gmail.com; cdido@frtl.utn.edu.ar; franco_mieres@hotmail.com; luciabalbi6@gmail.com
[2]*Facultad de Arquitectura y Urbanismo UNLP*
jorgeoliva00@gmail.com

RESUMEN

Este artículo se basa en el PID INDEEV, *Industrialización para la eficiencia energética de la vivienda. Diseño de productos y de producción industrial de componentes para la mejora térmica de la envolvente y la gestión de la energía natural en edificios residenciales* (MSECTL0009857), que lleva adelante un equipo investigación del grupo GESTADIS de la FRTL-UTN. En su desarrollo colaboran dos talleres verticales (Procesos Constructivos y Producción de Obras) de la FAU-UNLP.

La investigación pretende aportar mecanismos pasivos de mejora energética y de confort con costos de fabricación, instalación y operación menores a las instalaciones habituales. Y que dependan en menor medida de las energías no renovables.

Se han estudiado seis tipos de componentes pasivos industrializables, estableciendo relaciones de facilidad de implantación/ eficiencia energética entre ellos. Se han seleccionado los dos con mejor relación: un módulo de aislamiento térmico que se desarrolla hasta el nivel de TRL 4 y un panel solar de aire caliente que se desarrolla hasta el nivel de TRL 7. Esto último incluye la fabricación de un prototipo, su testeo como elemento captador solar - productor de aire caliente, pruebas reales en edificios de la FRTL-UTN y el monitoreo de temperatura y humedad en el espacio adyacente.

El porcentaje de avance del proyecto se estima en un 35 % sobre el total. Eso permite presentar los hallazgos y el análisis del estado del arte, los avances y resultados alcanzados en el prototipo experimental y un avance de su plan de producción industrial.

Palabras Claves: climatización pasiva, componente prefabricado, módulo experimental, monitoreo térmico.

ABSTRACT

This article is based on the PID INDEEV*, Industrialization for housing energy efficiency. Product design and industrial production of components for the thermal improvement of the envelope and the management of natural energy in residential buildings* (MSECTL0009857), carried out by a research team of the GESTADIS group of the FRTL-UTN. Two chair (Building Processes and Project Management) of the FAU-UNLP are collaborating in its development.

This research aims to provide passive mechanisms for energy and comfort improvement with lower manufacturing, installation and operation costs than usual installations and, at the same time, having less dependency on non-renewable energies.

Six types of industrial passive components have been studied, establishing ease of implementation/ energy efficiency ratios between them. The two with the best performance have been selected: a thermal insulation module developed up to TRL 4 level and a solar hot air panel developed up to TRL 7 level. The latter one includes the manufacturing of a prototype, its testing as a solar collector element - hot air producer, real tests in FRTL-UTN buildings and the monitoring of temperature and humidity in the adjacent space.

The percentage of progress of the project is estimated at 35% of the total. This allows presenting the findings and analysis of the state of the art, the progress and results achieved in the experimental prototype and a preview of its industrial production plan.

Keywords: passive air-conditioning, prefabricated component, experimental module, thermal monitoring

1. INTRODUCCIÓN

La investigación acerca de cómo facilitar la implementación de medidas de eficiencia energética en el sector residencial resulta fundamental, dado que el consumo energético final total del Argentina, de acuerdo con el Balance Energético Nacional del año 2020 del Ministerio de Economía citado en la Resolución 5/2023 de la Secretaría de Energía se sitúa en el 27,4% (SEC.EN, 2023). Por otra parte, tomando como referencia a las viviendas tipo del Área Metropolitana de Buenos Aires, con los aumentos de tarifas sin subsidios del 156% para la energía eléctrica y del 898% para el gas natural entre diciembre de 2023 y septiembre de 2024, la canasta de servicios energéticos se sitúa en 73.110 pesos mensuales para agosto 2024 (IIEP-UBA-CONICET, 2024) y eso implica el 9,8% de la canasta básica total de la línea de pobreza (INDEC, 2024) para hogares de similares características.

De tal forma, resulta de especial interés investigar, especialmente, las posibilidades de desarrollo y aplicación de sistemas pasivos que contribuyan a la disminución de la demanda de energía de climatización, con costo de instalación bajo y de operación casi nulo. Lo anterior redundaría, además, en un aumento del confort térmico y de las condiciones de salubridad en los hogares donde las personas no pueden hacer frente al pago de los servicios energéticos o habitan construcciones precarias desde el punto de vista constructivo, o ambas cosas a la vez.

Esta investigación, encuadrada en el PID INDEEV ya mencionado en el resumen, tiene sus antecedentes en otro PID desarrollado previamente por casi el mismo equipo de investigación de la FRTL UTN, denominado *Estudio del comportamiento térmico y propuestas de mejora de la envolvente en viviendas Municipales del partido de Trenque Lauquen, MSRENTL0005220*, desarrollado entre 2019 y 2021, que entre sus conclusiones determinó tanto la debilidad térmica de las envolventes como la ausencia de mecanismos solares pasivos y su incidencia en las altas demandas de energía de climatización (WADEL_et.al, 2022).

La metodología del PID INDEEV, tal como fue presentado y aprobado a la financiación por parte de la Universidad Tecnológica Nacional, no ha sufrido cambios significativos a destacar en este informe. Por otra parte, se encuentra en estado de gestión final un convenio de colaboración sobre docencia e investigación con la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional de La Plata, FAU UNLP, habiéndose incorporado para ello al equipo de trabajo el Profesor Adjunto Interino Jorge Oliva.

El proyecto se lleva adelante sin cambios importantes, aunque se pueden precisar los siguientes ajustes ligeros producidos en su planificación:

El cambio de ubicación del espacio interior vinculado a la instalación, pruebas y monitoreo de datos del panel solar de aire caliente en la Facultad Regional Trenque Lauquen implicó algo más de tiempo para los estudios de asoleo y la definición de la colocación y puesta en funcionamiento.

A partir de la colaboración con la FAU UNLP se estudia la posibilidad de replicar la fabricación y testeo de un panel solar de aire caliente en las instalaciones del FAUtec UNLP. Esto supone poder disponer de más datos, provenientes de una segunda localización con características climáticas algo diferentes.

Respecto de la planificación original del proyecto, puede verse en el siguiente cuadro donde se señala el momento actual con la línea punteada roja (Tabla. 1)

Tabla 1 Cronograma de tareas del proyecto del PID INDEEV

Año	Actividad	Inicio	Duración	Fin
1	1. Completamiento del estado del arte sobre componentes de mejora energética pasiva	01/04/2023	2 meses	31/05/2023
1	2. Vinculación con actores (docentes, investigadores, profesionales)	01/06/2023	2 meses	31/07/2023
1	3. Determinación de tipos de viviendas objetivo	01/08/2023	2 meses	30/09/2023
1	4. Estudio de aprovechamiento de la radiación solar	01/10/2023	3 meses	31/12/2023
1	5. Toma de contacto con usuarios y fabricantes, cocreación	01/01/2024	3 meses	31/03/2024
2	Transversal A: Formación (cursos y talleres complementarios)	01/04/2024	12 meses	31/03/2025
2	6. Definición de 6 componentes a nivel de TLR 1 a 2	02/04/2024	2 meses	31/05/2024
2	7. Definición de 2 componentes a nivel de TLR 3 a 4	01/06/2024	2 meses	31/07/2024
2	8. Estudio de mercado y plan de producción industrial	01/08/2024	4 meses	30/11/2024
2	9. Definición de 1 componente a nivel de TLR 5 a 7	01/12/2024	4 meses	31/03/2025
3	Transversal A: Formación (cursos y talleres complementarios)	01/04/2025	12 meses	31/03/2026

Las tareas 1, 2, 4 y 5 se encuentran finalizadas, mientras que las tareas 3, 6 y 7 están en desarrollo. La tarea Transversal A se va ejecutando conforme el proyecto va necesitando de la formación y capacitación de los miembros del equipo de investigación (hasta ahora estas han sido sobre estudios de asoleamiento y radiación solar y análisis de ciclo de vida de materiales y productos).

2. DESARROLLO

El desarrollo del proyecto se encuentra en el mes 16 de 36, con los siguientes resultados obtenidos.

2.1. Análisis del recorrido solar y sombras sobre el edificio de la sede de UTN FRTL

Para identificar la mejor orientación para la colocación del panel se utilizó la herramienta de acceso libre y en línea 3D Sun Path (MARSH, 2014) que requiere la ubicación geográfica precisa del edificio y un modelo 3D del mismo. El modelado se realizó con el programa SketchUp (TRIMBLE, 2024) de manera estimativa, ya que en ese momento no se disponía de los planos del edificio. El análisis se centró en la cantidad de horas de sol que inciden tanto en la fachada del edificio de la Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado SECYT (Fig.1) como en el muro interno de la misma (Fig.2).

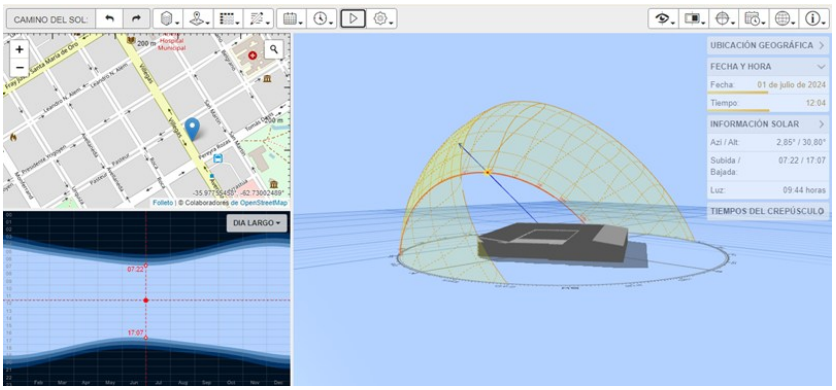


Figura 1: Incidencia solar en la fachada

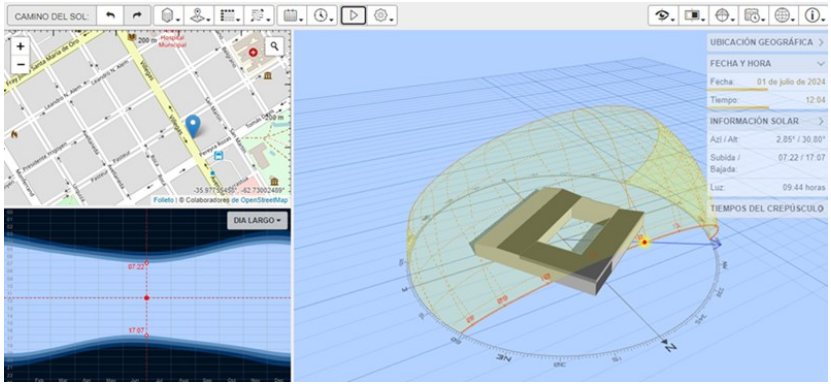


Figura 2: Incidencia solar en el muro interno

Después de cargar las coordenadas y el modelado, se ajustó el análisis a la fecha específica del año en la que se requiere evaluar el recorrido solar. Dado que el objetivo del panel es generar calor durante los meses de invierno, se analizó el recorrido solar correspondiente al 1 de julio de 2024. El análisis reveló que la fachada principal recibiría aproximadamente 3 horas de sol, mientras que el muro interno tendría unas 6 horas, antes de que las sombras obstruyeran la captación de luz.

Con base en la orientación del edificio de la SECyT (-35.9775682, -62.732479, 17) y el análisis de la luz solar, se concluyó que la mejor opción de instalación para el panel es el muro interno. Sin embargo, tras evaluar las actividades de obra necesarias para la instalación, se decidió finalmente ubicar el panel en el espacio del laboratorio de eficiencia energética. Este laboratorio cuenta con un muro que da a un patio trasero, el cual tiene la misma orientación que el muro interno analizado (Fig. 2).

2.2. Análisis de energía solar o irradiancia recibida por el panel

Una vez determinada la ubicación del panel, se realizó una simulación para estimar la energía solar recibida. Para ello y dado que no se han detectado programas específicos para paneles solares de aire caliente, se utilizó la herramienta gratuita PVGIS destinada a cálculos de producción solar fotovoltaica de acuerdo a la radiación solar incidente (PVGIS, 2001).

Esta herramienta requiere la ubicación geográfica del lugar donde se instalará el panel y, en la solapa "datos diarios", es necesario ingresar la pendiente de montaje y el azimut. Se evaluaron dos opciones:

el mismo azimut del muro y completamente norte. Por ser PVGIS una herramienta de origen europeo, junto con la carga de datos (Figs. 3 y 5) se ajustó el azimut de acuerdo con el hemisferio Sur.

Caso 1: Panel azimut 120

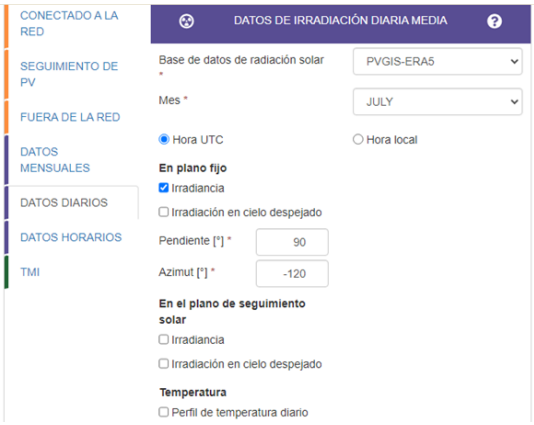


Figura 3: Datos de entrada de panel muro – Caso 1: Azimut 120

Tabla 2: Irradiancia media por hora en W/m² – Caso 1: Azimut 120

Horas	G(i) Irradiancia global en un plano fijo (W/m2)	Gb(i) Irradiancia directa sobre un plano fijo (W/m2)	Gd(i) Irradiancia difusa en un plano fijo (W/m2)
8:30	0	0	0
9:30	0	0	0
10:30	0	0	0
11:30	57,80	46,41	10,16
11:30	57,80	46,41	10,16
12:30	430,30	331,96	86,19
13:30	527,25	400,7	102,25
14:30	521,66	383,32	104,07
15:30	447,93	310,76	96,76
16:30	325,51	202,19	81,57
17:30	177,59	79,03	60,66
18:30	44,92	0	35,07
19:30	32,65	0	25,49
20:30	14,91	0	11,64
21:30	0,00	0	0
Totales	**2638,32**	**1800,78**	**624,02**

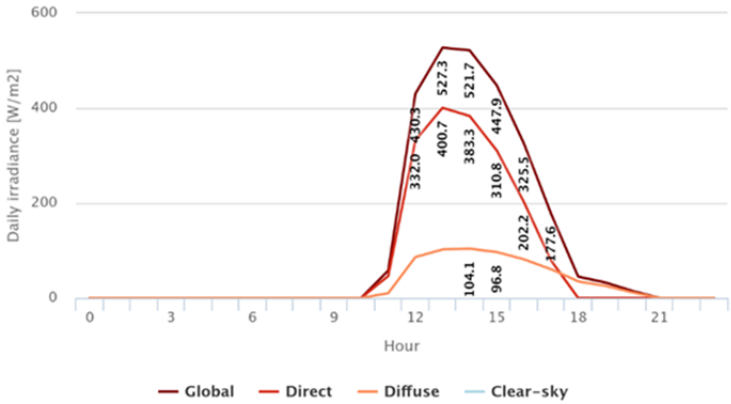


Figura 4: Irradiancia media por hora en W/m² - Caso 1: Azimut 120

La energía solar, o irradiación solar, diaria recibida por el panel montado sobre el muro en posición vertical sería, aproximadamente, de 5.063,12 W/m². Este valor se obtiene mediante la suma de las irradiancias solares global, directa y difusa (Tabla 2, Fig. 4).

Caso 2: Panel orientado al norte azimut 180

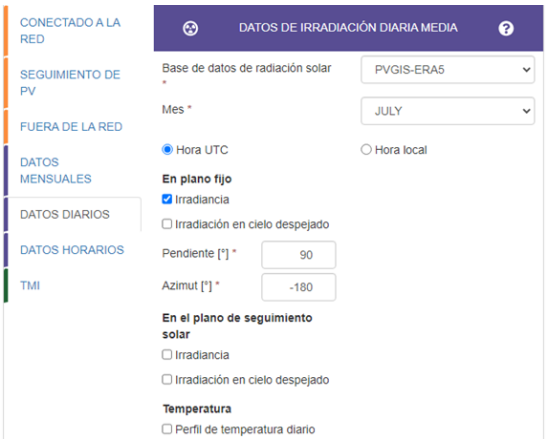


Figura 5: Datos de entrada panel muro - Caso 2: Azimut 180

Tabla 3: Irradiancia media por hora en W/m² - Caso 2: Azimut 180

Hora	G(i) Irradiancia global en un plano fijo (W/m2)	Gb(i) Irradiancia directa sobre un plano fijo (W/m2)	Gd(i) Irradiancia difusa en un plano fijo (W/m2)
8:30	0	0	0
9:30	0	0	0
10:30	0	0	0
11:30	29,55	21,02	7,3
12:30	281,7	206,91	62,65
13:30	434,63	321,07	89,26
15:30	605,06	447,62	117,02
16:30	616,06	455,55	118,76
17:30	572,36	422,4	112,05
18:30	476	347,72	98,7
19:30	353,09	256,95	77,33
20:30	191,87	141,55	43,57
21:30	0	0	0
Totales	**3560,32**	**2620,79**	**726,64**

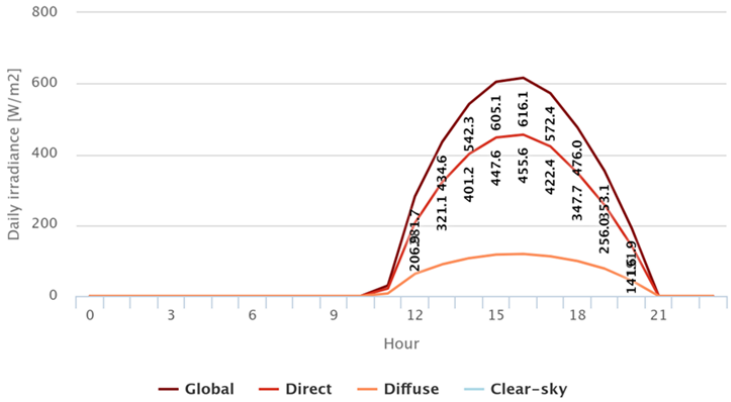


Figura 6: Irradiancia media por hora en W/m² - Caso 2: Azimut 180

La energía diaria producida por el panel fotovoltaico estándar montado con orientación norte sería aproximadamente de 6.907,75 W/m² (Tabla 3 y Fig.6). Por lo tanto, a partir de los resultados obtenidos del análisis, se concluye que un panel fotovoltaico estándar recibiría un 36% más, aproximadamente, de irradiancia solar respecto de la posición anterior (orientación del muro). Se trata de datos de referencia, a ser tenidos en cuenta en comparaciones de rendimiento energético cuando se disponga de información específica sobre el panel solar de aire caliente en de este proyecto.

2.3 Principal antecedente utilizado en el diseño y fabricación del panel solar de aire caliente.

De entre las distintas fuentes y referencias consultadas, como punto de partida se tomó el manual Calefactor Solar Modelo CSA-02 para habitación de 12 m², Construcción paso a paso, del Instituto de

Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido IIPAC de la FAU UNLP - CONICET (IIPAC, 2021) del que se presenta un extracto (Figs. 7 y 8).

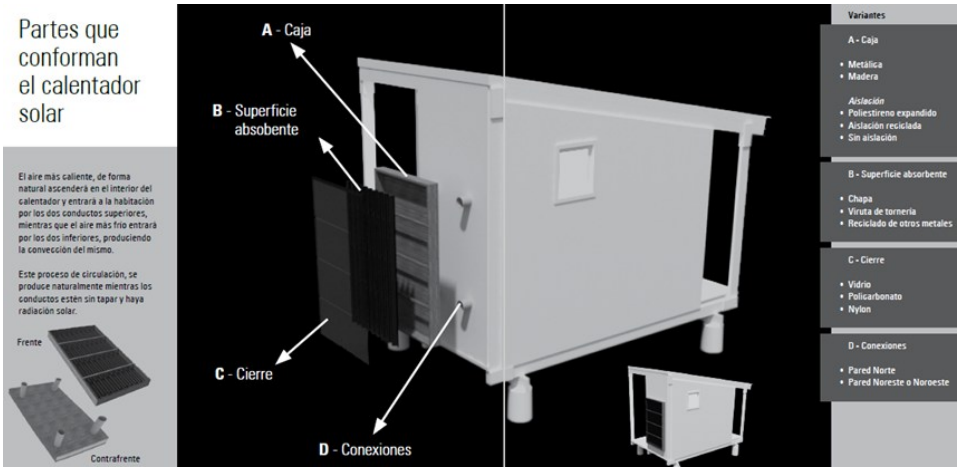


Figura 7: Sistema del calefactor solar IIPAC FAU UNLP - CONICET

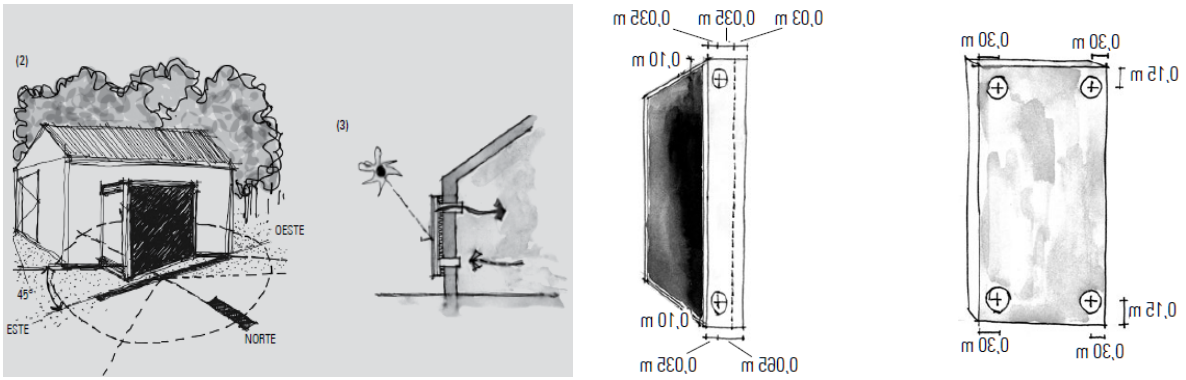


Figura 8: Calefactor solar IIPAC FAU UNLP – CONICET, disposición y dimensiones

El contacto con el equipo de investigación y desarrollo del IIPAC se realizó a través de su director, el Dr. Arq. Gustavo San Juan. Se prevé, una vez se disponga de datos del funcionamiento del prototipo de panel solar de aire caliente instalado en la FRTL UTN, realizar un intercambio de información.

2.4 Fabricación del panel de aire caliente solar a partir de los modelos adaptados

Partiendo del diseño del panel de aire caliente solar citado en el punto anterior, se realiza una adaptación al medio y recursos locales, confeccionando la lista de materiales y herramientas necesarias para llevar a cabo su construcción e instalación.

Materiales: panel SIP o placa OSB, 2 tirantes de madera de 1,5” x 2, 2 tirantes de madera de 1,5” x 1,15, 2 m^2 de chapa acanalada, panel de policarbonato translúcido (esp.: 4mm - 1,02 x 2,02 m), 2 tapas PVC (diam.: 110), 2 tapas PVC (diam.: 63), 2 tapones tipo Awaduct (diam.: 63), 2 m de caño PVC (diam.: 110 - esp.: 0,5 mm), 10 tornillos c/tuerca de 2 cm largo, 1,5 m cadena fina galvanizada, 0,5 Kg clavos espiralados 1 1/2", 0,5 Kg cola vinílica resistente al agua, 1 cartucho de sellador de silicona, 10 tarugos Ø 8 mm, 10 tirafondos Ø 8 mm, 0,5 l de esmalte sintético negro mate, 0,5 l de aguarrás

Herramientas: sierra circular, taladro atornillador, sierra de mano, martillo, amoladora eléctrica, martillo roto percutor, llaves varias de tubos

A partir de la lista confeccionada, en mayo de 2024 se realizó un primer presupuesto para la compra de materiales e insumos necesarios. Al momento de realizar la compra los costos variaron, por lo que se realizó una estimación actualizada para la fabricación del panel solar de aire caliente. Los valores se presentan tanto en pesos como en dólares, utilizando para ello la cotización informada por el Banco de la Nación Argentina el 8 de agosto de 2024, que era de 915,5 pesos por dólar (Tabla 4).

Tabla 4: Costos de materiales del panel colector solar, en pesos y dólares EEUU, en agosto 2024

	Material	Medidas	Cantidad	Precio $	Precio U$S
Fm Maderas	Placa OSB	Plancha 9mm	1	$ 26.000,00	28,4
	Tirantes	1,5" x 2m	2	$ 23.000,00	25,1
	Tirantes	1,5" x 1,15	2		
	Cola Vinilica		1	$ 4.900,00	5,4
Sub Total				**$ 53.900,00**	**58,9**
Metalúrgica Centro	Chapa Acanalada	(por m)	2	$ 25.200,00	27,5
Sub Total				**$ 25.200,00**	**27,5**
Oscar Trionfetti	Policarbonato	Esp.:4mm - 1,02 x 2,02m	1	$ 43.000,00	47,0
Sub Total				**$ 43.000,00**	**47,0**
CP Materiales	Tapas PVC	Diam.:110	4	$ 1.981,08	2,2
	Tapon awaduct	Diam.:63		$ 2.928,96	3,2
	Caño PVC	Diam.:110 - 2m Esp: 0.5mm	1	$ 7.983,00	8,7
	Sellador Acrílico Grieta		1	$ 7.067,00	7,7
Sub Total				**$ 19.960,04**	**21,8**
Argen Fer	Bulón Galv. 1/4			$ 442,14	0,5
	Tuerca Galvanizada			$ 177,85	0,2
	Arandela Galvanizada			$ 584,87	0,6
	Clavos Espiralados	1"	0.5Kg	$ 1.373,46	1,5
	Sellador Silicona	-	1	$ 3.998,00	4,4
	Tarugos del 8	-	10	$ 942,23	1,0
	Tirafondos del 8	-	10	$ 1.027,48	1,1
Sub Total				**$ 8.546,03**	**9,3**
Pint.Urquiza	Uxell Conv. Óxido Color		1,5Lt.	$ 7.800,00	8,5
	Aguarras		1Lt.	$ 2.600,00	2,8
	Pincel	Nº 20	1	$ 1.800,00	2,0
Sub Total				**$ 12.200,00**	**13,3**
TOTAL				**$ 162.806,07**	**177,8**

También se realizó una medición del tiempo dedicado por distintos integrantes del equipo de investigación a las tareas de logística, suministros, fabricación e instalación del panel solar (Tabla 5).

Tabla 5: Tiempos dedicados a la fabricación del panel

Tareas	Franco [min]	Cristian [min]	Fabiana [min]	Comentarios
DISEÑO				
Análisis de fuentes y referencias consultadas		60		
Diseño y documentación del panel		60		
Cálculo y definición de materiales a utilizar		60		
GESTIÓN DE RECURSOS				
Presupuestos y proveedores			240	
Compra de materiales		180	120	
Gestión de uso de herramientas				
PROCEDIMIENTO TÉCNICO				
Pintar estructura		135		sin contar tiempo de espera entre manos
Pintar chapa		80		sin contar tiempo de espera entre manos
Cortar/perforar estructura	60			rebaje para encastre de policarbonato y perforaciones laterales
Cortar/perforar placa rigidizadora (OSB)	40			instalación de tacos soporte para la chapa
Cortar chapa	15			
Cortar policarbonato	5			
Cortar aislante	5			
Cortar caños PVC	90			cortar caños a medida y fabricación de flor para sujeción
Armar estructura	30			
Rigidizar estructura (placa OSB)	60			sellado de todas las uniones internas y externas
Aislar caja panel	60			
Instalar caños PVC	30			instalar y sellar las juntas
Instalar chapa	10			
Instalar Policarbonato	30			instalar y sellar juntas
Medir pared y realizar los orificios	180			
Instalar anclajes y amurar el panel		120		
Rellenar los orificios en la pared	240			tapado de ventilaciones existentes y relleno de ventilacion inferior
TOTAL [hora persona | totales]	14.25	11.58	6.00	31.83

El proceso de fabricación del panel solar de aire caliente, realizado en las instalaciones de la FRTL UTN, se ha documentado mediante diversas fotografías (Figs. 9 y 10)



Figura 9: Proceso de fabricación del panel solar de aire caliente



Figura 10: Panel de aire caliente terminado e instalado en el laboratorio de la SECyT FRTL UTN

Paralelamente a la fabricación y montaje del panel, se conformó un tablero de automatización de dos forzadores del flujo de aire que se utilizaran en futuros ensayos para verificar su impacto en la transmisión de calor. Los elementos utilizados para su conformación, relé programable, transmisores, sensores de temperatura, etc., son equipos reutilizados de otros proyectos de investigación finalizados.

Posteriormente al montaje, se procedió a llenar el orificio inferior con cemento y el superior con espuma de poliuretano, evitando fugas y dándose así por finalizada la instalación.

Se realizó un relevamiento con imágenes termográficas, previas al montaje del panel, a efectos de guardar registro del comportamiento de la envolvente (Fig. 11)

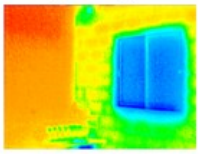
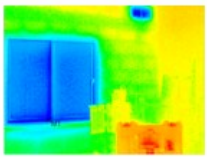
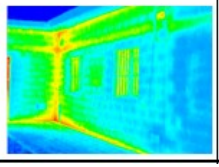
Fecha - Hora	Imagen Termográfica	Imagen Real	Datos
18/07/2024 - 6:55			Escala T°: 7 - 13,8
18/07/2024 - 6:56			Escala T°: 5,8 - 15,5
18/07/2024 - 6:57			Escala T°: 2,7 - 9,1

Figura 11: Fotografías termográficas del interior del local donde se instala el panel - 18/7/2024

Posteriormente al montaje del panel de aire, ya comenzando su producción de calor, se volvieron a tomar imágenes termográficas que muestran el salto térmico entre las partes calientes del sistema de generación respecto de la envolvente del laboratorio (Fig. 12).

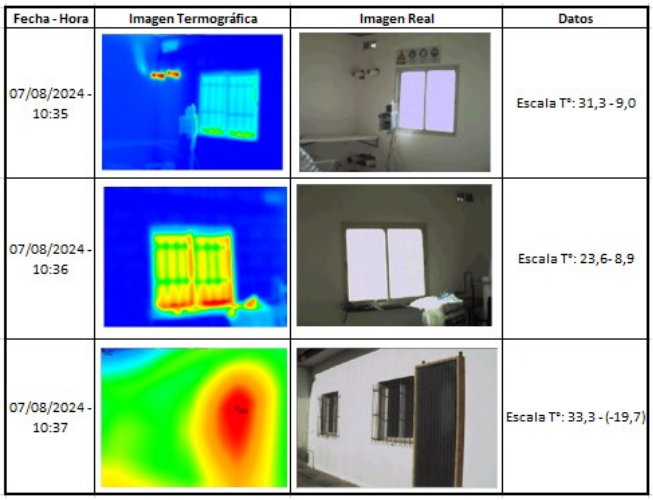


Figura 12: Fotografías termográficas del interior del local, con el panel - 7/8/2024

2.5 Sistema de medición para relevar datos climáticos del medio y del local

La recolección de datos del sistema en evaluación, tanto internos como externos y del propio panel de aire caliente, es fundamental para evaluar con precisión las variables involucradas en el proceso, permitiendo un análisis detallado.

Los materiales y componentes empleados, algunos de los cuales se encontraban disponibles en la FRTL UTN mientras que otros fueron adquiridos, se describen a continuación (Tabla 6).

Tabla 6: Materiales y componentes para la toma de datos

Material	Uso
Arduino uno	Sirve para conectar y procesar la información de los sensores
Sensor DTH22	Sensor que toma humedad relativa y temperatura del ambiente
Sensor Fotosensible	Determina cuánta luz recibe el muro
Sensor mq 7	Es un sensor que detecta varios gases, pero está especializado en CO2
Sensor de movimiento Hc Sr501	Sensor infrarrojo de movimiento
Placa Protoboard	Sirve para el armado del circuito
Cables Protoboard	Sirven para conectar los distintos componentes
Computadora de escritorio	Nos provee la conexión a internet y nos permite procesar los datos

Para la implementación del sistema de medición se realizó la conexión de los distintos sensores a una placa Arduino, utilizando el IDE de Arduino para programarla (BANZI_et.al, 2003).

Los datos obtenidos por Arduino a través del puerto serial se configuran para ser procesados por un programa desarrollado en Python (PYTHON, 2001). Una vez procesados, estos datos se guardan en un archivo .csv, lo que permite una manipulación eficiente de la información. Este archivo contiene el registro de los siguientes datos: Timestamp, Sensor1_Temperatura(°C), Sensor1_Humedad (%), Sensor2_Temperatura (°C), Sensor2_Humedad (%), Sensor3_Temperatura (°C), Sensor3_Humedad (%). Cabe destacar que solo se están registrando los datos provenientes de los sensores DTH 22.

Actualmente los datos tienen dos usos. En primer lugar, se almacenan para su posterior análisis. En segundo lugar, se muestran en tiempo real en un bot de Telegram (DÚROV_N_et.al, 2013) al cual se puede acceder a través del enlace https://t.me/ClimaFRTL_bot. Este bot permite monitorear la información actual de los sensores y descargar todas las mediciones registradas.

En cuanto a la ubicación de los sensores de temperatura y humedad, el Sensor 1 se encuentra en la parte superior de la habitación, el Sensor 2 está colocado en la parte inferior, cerca del suelo, y el Sensor 3 se ubica en una posición intermedia entre ambos. Esta disposición permite captar variaciones de temperatura y humedad en diferentes niveles dentro del espacio monitoreado.

La temperatura ambiente también es relevada por un sensor pt100 conectada al relé programable Easy620-dctc de Moeller que activa los forzadores que se utilizarán en el panel en futuros ensayos.

Los forzadores constituidos por dos ventiladores axiales AD0912US-A70GL de ADDA se colocaron sobre caños inferiores forzando el aire frío a ingresar al panel y así poder estudiar el intercambio de calor también en este modo. La programación del relé activa los forzadores cuando la temperatura ambiente cae por debajo de cierto umbral, excepto cuando se encuentra en un horario nocturno indicado en la programación del relé.

Además, se dotó de la posibilidad de incorporar una fotocélula en una de sus entradas, para detectar el tiempo en que hay presencia de radiación solar.

2.6 Relevamiento de las mediciones iniciales

En primera instancia, se decide realizar mediciones con el panel conectado en modo pasivo, sin forzamiento del flujo de aire mediante ventiladores, para garantizar que los datos reflejan el rendimiento base del sistema. Estos datos se registran mediante un formulario de Google (GOOGLE_LLC, 2018), facilitando la organización y posterior análisis de la información recolectada.

Las mediciones principales se realizaron en un rango de tres horarios clave: de 6:00 a 7:00, de 12:30 a 14:00 y alrededor de las 19:00. Durante estos intervalos se recogen los datos de temperatura ambiente, temperatura en el controlador lógico programable PLC, temperatura de la chapa negra captadora, temperatura en las bocas de entrada y salida, velocidad de flujo de aire en ambas bocas, presión y energía en términos de irradiancia solar (W/m^2).

También se capturan imágenes termográficas que permiten observar la distribución de temperatura en el panel y en el interior del laboratorio, así como también en las imágenes exteriores.

Además de estas mediciones principales se realizan otras complementarias en diferentes intervalos de tiempo, para obtener un análisis más detallado del sistema.

Por otro lado, se instalaron dos dataloggers que fueron configurados el mismo día de inicio de relevamiento de datos, el 20 de agosto de 2024. Uno se encuentra ubicado debajo de la salida del panel, mientras que el otro se ubica en la esquina opuesta. Estos dispositivos permiten registrar datos de temperatura y humedad ambiente, a intervalos regulares programables, de las condiciones del entorno, complementando así las mediciones manuales.

En el laboratorio de Eficiencia Energética de la FRTL UTN se cuenta con los siguientes instrumentos: termómetro de ambiente, termómetro en PLC, termómetro de contacto modelo: Testo 915 i, anemómetro modelo: LM-8000, cámara termográfica modelo: Testo 875, y medidor portátil de energía solar modelo Tenmars Tm-206 prestado por la empresa Solar Control.

Los primeros datos obtenidos, que corresponden al período de prueba, calibración y ajuste la metodología de medición y del instrumental utilizado, han sido obtenidos entre el 20 de agosto y el 10 de septiembre de 2024.

El análisis del primer conjunto de datos, sobre temperatura interna en el local, temperatura externa en el patio y presión atmosférica del ambiente exterior (Fig. 13), permite observar que la temperatura ambiente exterior fue generalmente coincidente con la que aportó el controlador lógico programable PLC cuando estaba instalado en el interior.

A partir del 31 de agosto de 2024 el controlador lógico programable PLC comenzó a medir la temperatura externa, es decir del patio adyacente al laboratorio donde se encuentra instalado el panel solar de aire caliente.

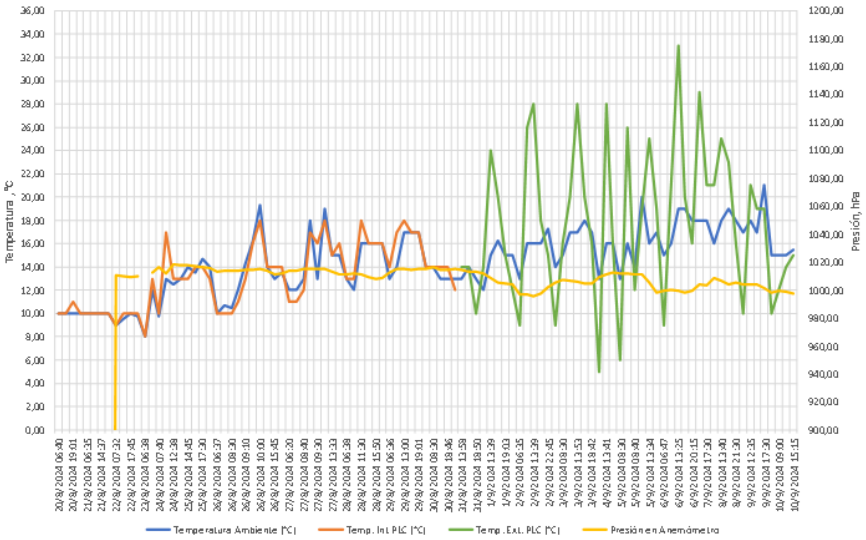


Figura 13: Temperatura interna (local), externa y presión atmosférica

El análisis del segundo conjunto de datos, sobre temperatura de chapa negra del panel, el flujo de aire y la energía solar ganada (Fig. 14) permite observar que la temperatura de la chapa responde al patrón de la energía solar medida Por otra parte, puede observarse el gradiente entre la temperatura de la chapa en su parte inferior, donde se sitúan las entradas de aire frio de la habitación, y su parte superior, donde se sitúan las salidas de aire caliente hacia la habitación. Asimismo, la gráfica muestra que la mayoría de los días con mayor radiación solar incidentes, o irradiancia, pudo medirse la existencia de un flujo de aire en las bocas de ingreso y egreso del panel, que se calienta en ese proceso.

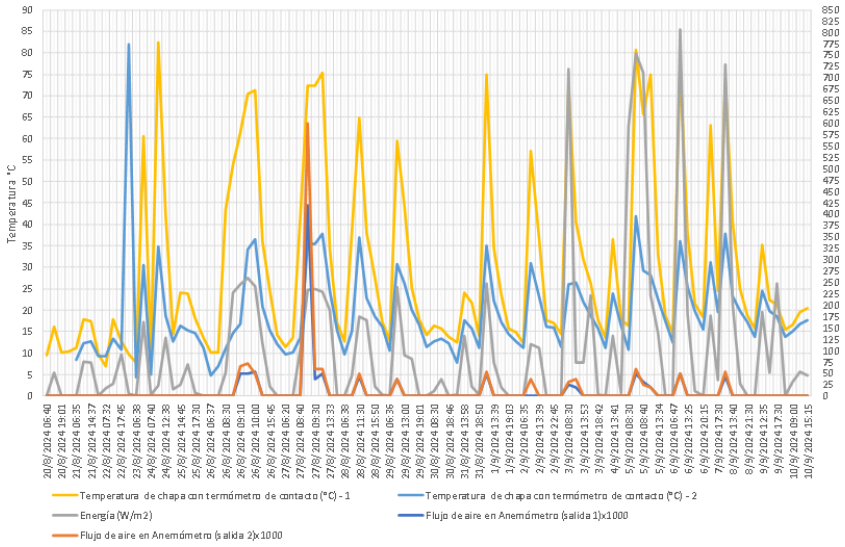


Figura 14: Temperatura de la chapa del panel, flujo de aire y energía solar, medición de invierno

Cabe tener en cuenta que ambos conjuntos de datos son resultados preliminares, provisionales, dado que todo el sistema se encuentra en prueba y ajuste. Las mediciones y el calibrado del sistema continuarán durante los meses de la primavera, el verano y el otoño, para evaluar los comportamientos en media estación y en la estación cálida. De tal forma, al finalizar ese proceso y con la llegada del invierno en 2025 se podrá realizar una nueva toma de datos correspondiente a la temporada fría, conjunto de información que servirá para la optimización de la metodología y el diseño del panel de aire caliente solar.

2.7 Actividades principales actualmente en desarrollo y a iniciar en lo sucesivo

Tal como se presenta en el punto 1. Introducción de este artículo, el proyecto se encuentra en el 50% de su duración. Lo desarrollado hasta aquí se completará con la siguiente previsión de tareas, que surge tanto de la programación inicial del proyecto como de algunos ajustes producidos.

- Toma de datos del prototipo de panel solar y del local al que se encuentra conectado, su análisis y acciones correctivas en la gestión del mismo, para la mejora de los resultados. Duración: de agosto 24 a marzo 26
- Determinación de las viviendas tipo, en Trenque Lauquen, a las que se les podría aplicar el panel y definiciones técnicas sobre cómo hacerlo en función de las orientaciones solares y las posibilidades constructivas. Duración: de agosto 24 a diciembre 24
- Completamiento del estudio, en los niveles de TRL 1 a 2, de los seis componentes del sistema pasivo para la disminución de la demanda energética de climatización y definición del componente de aislamiento térmico modular en el nivel de TRL 4. Duración: de agosto 24 a diciembre 24
- Gestiones para la posibilidad de replicar el panel en las instalaciones del centro FAUtec de la FAU - UNLP (La Plata) y, si son positivas, fabricación y testeo en esas instalaciones. Duración: de marzo 25 a septiembre 26
- Definición del panel para fabricación en serie, estudio de mercado y plan de producción industrial, incluidas las demostraciones del prototipo y el intercambio de opiniones con actores del sector de la construcción. Duración: de marzo 25 a diciembre 25
- Desarrollo conjunto con los Talleres Verticales de Procesos Constructivos y Producción de Obras de la FAU - UNLP de una jornada docente estudiantil para la evaluación de la integración constructiva, puesta en obra, mantenimiento y final de ciclo de vida de los paneles. Duración: de marzo 25 a julio 26
- Búsqueda de congresos y publicaciones para dar a conocer los resultados del proyecto, redacción de artículos y presentaciones, asistencia a los eventos y publicación. Duración: de agosto 24 a marzo 26
- Tarea transversal selección y asistencia a cursos y seminarios de actualización y capacitación para el equipo de investigación, en las temáticas, metodologías y herramientas necesarias para el proyecto. Duración: de agosto 24 a marzo 26

3. CONCLUSIONES

Si bien el proyecto se encuentra en desarrollo, habiéndose cumplido la primera mitad del término para su desarrollo, es posible plantear unas primeras conclusiones con carácter provisional:

- La metodología y el plan de trabajo, con ligeras modificaciones respecto de lo previsto en las sus versiones iniciales, han podido llevarse adelante y ser verificadas, al menos de forma inicial, en el desarrollo del proyecto realizado hasta ahora.
- Si bien el proyecto se centra en dos componentes para la mejora térmica de la envolvente, un aislamiento modular (que debe llegar a madurez tecnológica TRL 4) y un panel de aire caliente (que debe alcanzar el TRL 7), lo realizado hasta ahora se centra en el segundo.
- La colaboración con los Talleres Verticales de Procesos Constructivos I-II-III García Zúñiga - Wadel y de Producción de Obras I-II-III García Zúñiga - Wadel - Cremaschi de la FAU UNLP, mediante un convenio con la FRTL UTN, permitiendo realizar una evaluación constructiva.
- Los primeros datos recolectados, si bien son provisionales y se encuentran bajo revisión, permiten constatar que el funcionamiento del panel solar como productor de aire caliente se está produciendo dentro de lo esperado a partir de las referencias técnicas halladas.
- Es necesario tener en cuenta que, junto con la consideración de los aportes del panel solar de aire caliente, hay que considerar la mejora de otros factores importantes de la calidad de la envolvente como el aislamiento térmico y el control de infiltración.

Se considera que el proyecto puede colaborar, indirectamente, en la resolución de los siguientes problemas y necesidades económico - sociales:

- La disminución del costo de la energía de climatización, dado que la combinación de ambos componentes de mejora de la envolvente a desarrollar (aumento del aislamiento y ganancia de calor) implica una disminución de la demanda energética con carácter permanente.

- Aumento del confort higrotérmico en los espacios interiores, ya que al reducir la necesidad del aporte de calor (en invierno) se produce un aumento de las temperaturas operativa interior y de las superficies radiantes, así como un mayor control de la humedad ambiente.
- Generación de nueva actividad económica local, teniendo en cuenta que el desarrollo de ambos componentes (módulos de aislamiento térmico y paneles solares de aire caliente) se basa en tecnologías, materiales y otras capacidades existentes o a crear en el entorno próximo.
- Mejora de las prestaciones de la construcción, a partir de la reducción del consumo energético y del aumento del confort ya mencionados, especialmente en lo relativo a la obtención de mejores condiciones de salubridad del ambiente interior.
- Reducción del uso de energía no renovable, tanto en la intervención de la vivienda individual como en la de la multiplicación de casos que podría alcanzarse si estos componentes pudieran incorporarse en proyectos públicos y privados que alcancen conjuntos o sectores urbanos.

4. REFERENCIAS

BANZI_et.al. (10 de enero de 2003). *Arduino, Sistema de control global de dispositivos*. Recuperado el 15 de marzo de 2024, de Diseño, fabricación y soporte a dispositivos electrónicos y software, de harware libre, para facilitar el acceso de las personas a la tecnología: https://www.arduino.cc/

DÚROV_N_et.al. (20 de octubre de 2013). *Bot de mensajería en la nube para móviles y computadoras*. Recuperado el 20 de mayo de 2024, de Pequeñas aplicaciones que se ejecutan dentro de Telegram: https://core.telegram.org/bots

GOOGLE_LLC. (10 de febrero de 2018). *Google Workspace*. Recuperado el 22 de junio de 2024, de Formularios de datos personalixables y automatizables: https://workspace.google.com/intl/es-419_ar/lp/forms/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=latam-AR-all-es-dr-bkws-all-all-trial-b-dr-1707806-LUAC0020520&utm_content=text-ad-none-any-DEV_c-CRE_687243526787-ADGP_Hybrid%20%7C%20BKWS%20-%20BRO%20%7C

IIEP-UBA-CONICET. (22 de septiembre de 2024). *Área Fiscal y Políticas Públicas del IIEP de la Facultad de Ciencias Económicas UBA - CONICET.* Recuperado el 21 de septiembre de 2024, de Reporte de Tarifas y Subsidios #18: https://iiep.economicas.uba.ar/wp-content/uploads/2024/09/INFORME-TARIFAS-Y-SUBSIDIOS-SEPTIEMBRE-2024.pdf

IIPAC. (20 de Mayo de 2021). *Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido IIPAC FAU UNLP - CONICET.* Recuperado el 16 de abril de 2024, de Manual Calefactor Solar Modelo CSA-02 para habitación de 12 m2, construcción paso a paso: https://iipac.unlp.edu.ar/manuales/

INDEC. (30 de agosto de 2024). *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de la República Argentina.* Recuperado el 21 de septiembre de 2024, de Valorización mensual de la canasta básica alimentaria y de la canasta básica total. Gran Buenos Aires: https://www.indec.gob.ar/uploads/informesdeprensa/canasta_09_244225C31761.pdf

MARSH, A. (18 de abril de 2014). *3D Sun Path*. Recuperado el 22 de marzo de 2024, de Simulación de la incidencia del recorrido aparente del sol sobre distintas superficies y localizaciones: https://drajmarsh.bitbucket.io/sunpath3d.html

PVGIS. (31 de enero de 2001). *PVGIS.COM*. Recuperado el 28 de marzo de 2024, de Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica: https://pvgis.com/

PYTHON. (10 de enero de 2001). *Python Software Foundation*. Recuperado el 22 de abril de 2024, de Python 2.1: https://www.python.org/

SEC.EN. (6 de enero de 2023). *Boletín Oficial de la República Argentina, Resolución 5/2023.* Recuperado el 21 de septiembre de 2024, de Cración del Programa Nacional de Etiquetado de Viviendas (PRONEV): https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/279268/20230109

TRIMBLE. (21 de septiembre de 2024). *SketchUp*. Recuperado el 22 de marzo de 2024, de Software de modelado en 3D: https://www.sketchup.com/es

WADEL_et.al. (2022). Sistema de Ayudade Eficiencia Energética en Vivienda Municipal. *CRETA XII Libro de Ponencias* (págs. 399 - 403). Rosario: Universidad Nacional de Rosario, A&P Ediciones. Recuperado el 21 de septiembre de 2024, de

https://unreditora.unr.edu.ar/producto/xii-congreso-regional-de-tecnologia-en-arquitectura-libro-de-ponencias/

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores de este artículo desean agradecer al resto del equipo de investigación del PID INDEV MSECTL0009857 de la FRTL UTN por hacer posible el trabajo presentado, incluyendo en ello a: Fabiana Mansilla, Cristian Rodríguez, Juan Eduardo Álvarez, Pablo García, Elías Bonora, Tomás Salinas, y Emiliano Arce.

Este agradecimiento se extiende, asimismo, al Grupo de Estudios sobre Técnicas y Análisis de Decisiones en Ingeniería Sostenible y en especial a su Director Mg. Ing. Daniel Hugo Xodo, por al apoyo dado al proyecto desde sus inicios.

"EXPERIENCIAS EN LA EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE VIVIENDAS CON DIFERENTES SISTEMAS CONSTRUCTIVOS MEDIANTE EL APLICATIVO INFORMÁTICO"

Das Neves Gustavo[1], Gil Marcelo[2], Maccarone José [3], Valencia Arotinco Yannet[4]

1 Docente/Investigador LEMaC, Centro de Investigaciones Viales CIC PBA y GIV Grupo de Investigación en Vivienda, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Reg. La Plata. gdneves@frlp.utn.edu.ar
2 Docente/Investigador Grupo GIDeSO Grupo de Investigación en Desarrollo Sostenible de las Organizaciones, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Reg. La Plata. ingilmr@frlp.utn.edu.ar
3 Vicedirector CODAPLI Centro de Investigación de Codiseño Aplicado, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Reg. La Plata. macarone@frlp.utn.edu.ar
4 Becaria Grupo GIV, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Reg. La Plata. valenciayannet@frlp.utn.edu.ar

RESUMEN.

Se presenta en este trabajo los avances producidos en el PID "Gestión de la energía en la evaluación de viviendas sostenibles" (Código ENECLP0010120), iniciado el presente año, en el cual evaluaremos diferentes métodos constructivos de viviendas caracterizados por incluir diseños, materiales y sistemas que aporten a la eficiencia energética. El método de evaluación es a través del Aplicativo de etiquetado energético del PRONEV. Se evaluará en primera instancia su IPE (índice de prestación energética) en su estado original, para luego repetir el proceso con las mejoras introducidas, ya sea al sistema constructivo o al diseño arquitectónico, con el fin de obtener uno mejor. El proyecto prevé continuar con la evaluación económica del modelo en su estado original y modificado, pudiendo así analizar los costos y beneficios que derivan de tales mejoras en relación a la eficiencia energética lograda. Se agrupan, en este proyecto las capacidades desarrolladas en el GIV, Grupo de Investigación en vivienda, en temáticas referidas a sistemas constructivos, y el Centro CODAPLI y el Grupo GIDESO, con antecedentes en la evaluación de la eficiencia energética en el campo de la industria.
El presente trabajo muestra la primera parte del desarrollo que es la evaluación y análisis de resultados mediante el aplicativo informático descripto, de un modelo de vivienda ejecutado con sistema constructivo en madera y su comparación evaluativa con el sistema constructivo de mampostería cerámica.

Palabras Claves: Eficiencia Energética, Viviendas, Sistemas constructivos, Evaluación.

ABSTRACT

This paper presents the progress made in the IDP "Energy management in the evaluation of sustainable housing" (Code ENECLP0010120), started this year, in which we will evaluate different construction methods of houses characterized by including designs, materials and systems that contribute to energy efficiency. The evaluation method is through PRONEV's energy labeling application. The IPE (energy performance index) in its original state will be evaluated first, and then the process will be repeated with the improvements introduced, either to the construction system or to the architectural design, in order to obtain a better one. The project foresees to continue with the economic evaluation of the model in its original and modified state, thus being able to analyze the costs and benefits derived from such improvements in relation to the energy efficiency achieved. This project brings together the capabilities developed in the GIV, Housing Research Group, in topics related to construction systems, and the CODAPLI Center and the GIDESO Group, with a background in the evaluation of energy efficiency in the field of industry.
The present work shows the first part of the development, which is the evaluation and analysis of results by means of the described computer application, of a housing model executed with a wood construction system and its evaluative comparison with the ceramic brick masonry construction system.

Keywords: Energy Efficiency, Housing, Building Systems, Evaluation.

1. INTRODUCCIÓN.

Las viviendas demandan energía, como resultado de cubrir las necesidades de iluminación, cocción y conservación de alimentos, calentamiento de agua sanitaria, climatización y utilización de electrodomésticos y equipos electrónicos. Esta demanda ubica al sector residencial como uno de los mayores consumidores de energía y generadores de emisiones de gases de efecto invernadero. En Argentina el sector residencial consume un 26.6% de la energía secundaria total del país, contra un 31.6% del transporte, 21.5% de la industria, 7.5% del comercios y edificios públicos, 7.2% del uso agropecuario, y un 5.6% para el uso de productos energéticos como materia prima para la producción de insumos (plásticos, fertilizantes, etc.), según el Balance Energético Nacional (BEN) del año 2022 (Figura 1). Y en particular la demanda de energía necesaria para obtener confort térmico es la que más peso tiene dentro del consumo total de la vivienda (Figura 2), alcanzando un 38% (Eficiencia Energética Argentina). La eficiencia energética se puede definir como el conjunto de acciones que permiten mejorar la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios que se obtienen a partir de su uso, sin afectar la calidad de vida de los usuarios (Secretaría de Energía de la Nación). Por lo tanto, se convierte en indispensable mejorar el desempeño energético de las viviendas a través de la gestión de la energía, favoreciendo medidas de uso racional y eficiente. La mejora en la conformación de las envolventes de la vivienda, incorporación de sistemas y estrategias de diseño en la arquitectura, sea esta tarea como reacondicionamiento de una existente, o como parte de un proyecto a realizar, aportaría mejoras sustanciales en busca del objetivo mencionado.

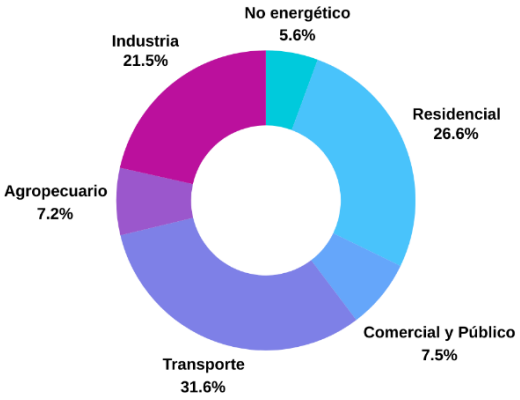


Figura 1. *Balance Energético Nacional 2022. Energía primaria y secundaria. Secretaria de Energía de la Nación. Fuente: elaboración propia en base al BEN 2022*

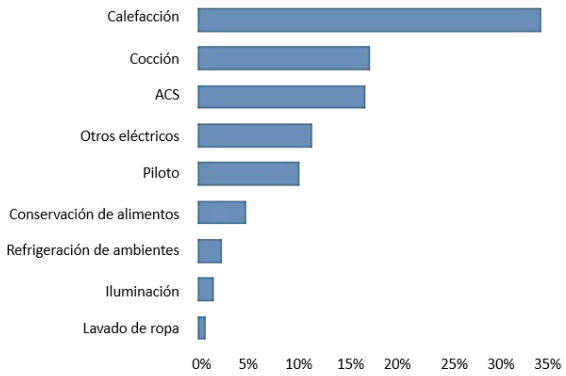


Figura 2. *Distribución Consumos para una vivienda Fuente: ENARGAS, CAMMESA y resultados preliminares de la ENGHo 2018 - INDEC*

En el contexto descripto anteriormente el proyecto denominado “Gestión de la energía en la evaluación de viviendas sostenibles” (Código ENECLP0010120), aborda la temática de la gestión de la energía como herramienta para la evaluación de las viviendas con características sostenibles, bajo dos lineamientos principales. El primero de ellos el Técnico, con la evaluación de diferentes tipos de configuración de viviendas, sus sistemas constructivos, estrategias de diseño bioambiental e incorporación de sistemas de energías renovables, que generen una mejora del Índice de Prestación Energética (IPE). En segundo lugar, la evaluación económica financiera de las mejoras en la configuración de las viviendas. La validación de lo propuesto será realiza con el uso de la plataforma que proporciona el PRONEV (Programa Nacional de Etiquetado de Viviendas, Resolución N°5/2023 de la Secretaría de Energía del Ministerio de Economía pudiendo evaluar, como hemos comentado, el modelo en su estado original y modificado, permitiéndonos valorar costos y beneficios, que derivan de tales mejoras en relación a la eficiencia energética lograda. El objetivo de este trabajo es evaluar el modelo elegido como punto de partida del proceso descripto, aplicándole variaciones en su sistema constructivo de modo de realizar evaluaciones comparativas de sus prestaciones energéticas.

2. DESARROLLO.

2.1. Descripción del modelo.

El modelo evaluado en esta primera instancia del PID es la vivienda ubicada en el campo deportes de la UTN FRLP, nuestra Facultad, en la localidad de Berisso, Pcia de Buenos Aires (Fig. 3 y 4). La misma fue construida en 2016, dentro de las actividades planteadas en el GIV, Grupo de Investigación en

vivienda del Departamento de Ingeniería Civil, con alumnos y profesionales de la carrera, en un trabajo interinstitucional e interdisciplinario en conjunto con docentes y profesionales de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF) de la UNLP, el INTA Concordia y el INTI Entre Ríos, con el objetivo de promover soluciones constructivas que acompañen criterios de sostenibilidad desde la producción de los materiales que la componen, en su etapa de construcción, y luego en su posterior puesta en funcionamiento, pudiendo adaptarse a metodologías o procesos de autoconstrucción. [1].



Figura 3. *Ubicación de la Vivienda*



Figura 4. *Imagen de la Vivienda*

Es así que el sistema constructivo utilizado es el de entramado cerrado, Platform Frame o Wood frame, caracterizado por la utilización de una estructura de tablas de escuadrías pequeñas las cuales se unen mediante clavos o tornillos confeccionando entramados horizontales o verticales, rigidizados por tableros clavados a dicha estructura (Fig. 7). Las tres especies utilizadas en sus diferentes componentes son Eucalyptus Grandis, Pino Ellioti (Pinus elliottii) y Sauce (Salix), siendo esta última especie una experimentación desde el punto de vista de uso para construcción, ya que habitualmente se limita a armado de cajones y mimbre [2].

Se trata de una construcción con un presupuesto muy limitado, conformándose una vivienda mínima. Se desarrolla en una sola planta incluyendo un área de cocina, estar-comedor, baño y dormitorio, a la que se le suma un área de acceso independiente para depósito y lavadero. Las áreas cubiertas computan 56,80m2, y las semicubiertas 10,2m2.

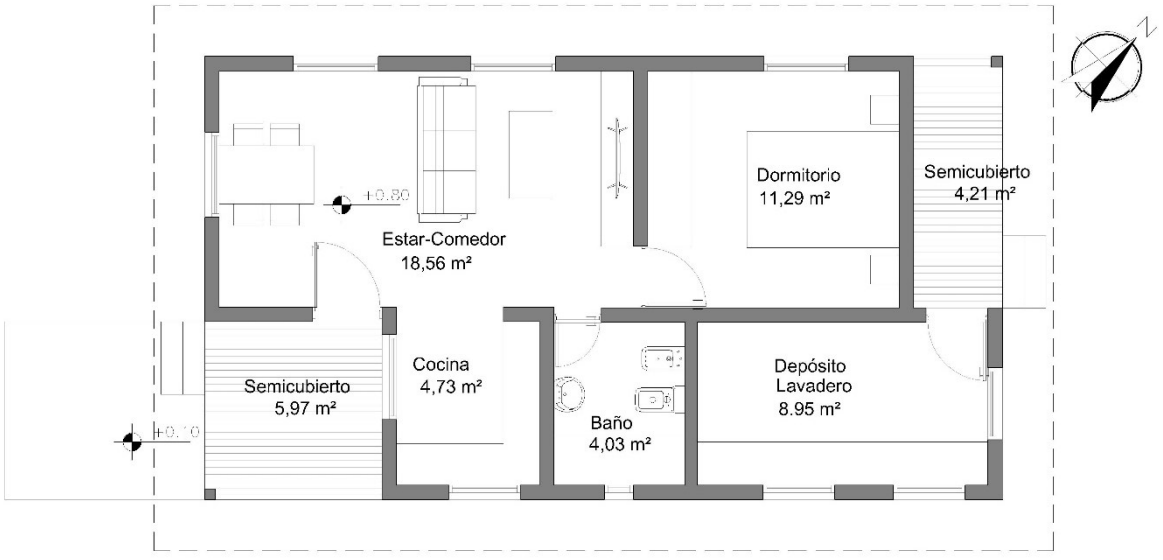


Figura 5. Planta de la vivienda del modelo evaluado.

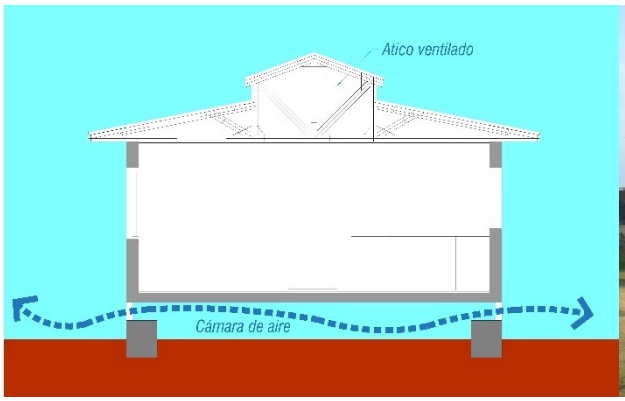


Figura 6. Corte transversal de la vivienda



Figura 7. Imagen de la etapa de construcción

Las envolventes verticales se componen de múltiples capas en torno a la estructura de madera descripta, conformando la aislación hidrófuga y térmica, revestimientos interiores y exteriores. La cara exterior conforma una fachada ventilada entre la barrera de gas permeable y el revestimiento exterior (Fig. 8).

La envolvente horizontal, se establece como piso de planta baja conformada por la estructura y los tableros rigidizadores de contrachapado fenólico de 18 mm, (Fig. 9) separadas del terreno natural apoyándose en la estructura de hormigón armado por vigas reticuladas de Eucalyptus Grandis de 1” x 3”, dejando una cámara de aire ventilada (Fig. 6 y 7).

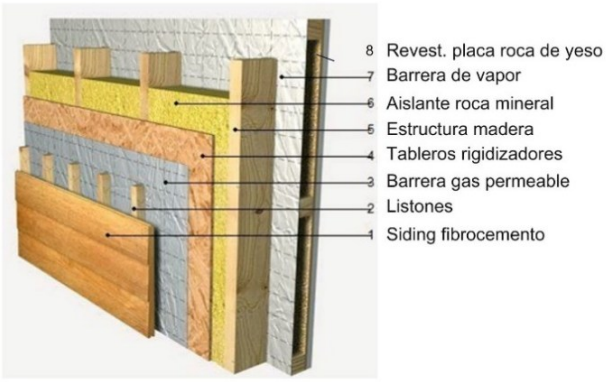


Figura 8. *Detalle envolvente vertical*
Fuente: Edición propia de imagen de internet.

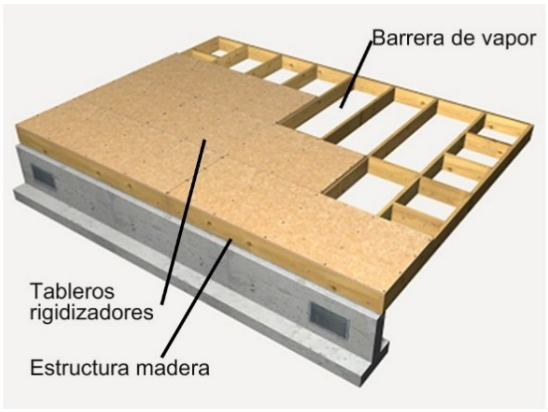


Figura 9. *Detalle entrepiso*
Fuente: Edición propia de imagen de internet.

La estructura de la cubierta de chapa está ejecutada por cabriadas de Sauce de 2” x 4”, conformando un ático ventilado mediante rejillas en cada extremo. Como revestimiento exterior se utilizó placa de roca de yeso, más aislante de lana de vidrio de 2” sobre este.

2.2. Modelos comparativos.

Al modelo construido, con el fin de realizar la evaluación comparativa, se lo adoptó al sistema constructivo más utilizado y difundido en la región para la construcción de viviendas, el de mampostería cerámica, donde las envolventes y tabiques interiores, son compuestas por mampostería de ladrillos huecos cerámicos, más revoques interiores y exteriores (Fig. 10). El cambio de sistema constructivo trae aparejado que desaparezca la cámara de aire inferior, apoyándose la construcción en una estructura de fundación de H°A° sobre el suelo.(Fig. 11). La cubierta con el ático ventilado y las aberturas mantienen la misma solución que el modelo original.

Sumamos un tercer modelo comparativo modificando el anterior adaptado. A la envolvente descripta le sumamos en la cara interior un componente de aislación térmica de lana de vidrio de 38mm y barrera de vapor en nylon de 100micrones. Como revestimiento interior se dispone una placa de roca de yeso de 12.5mm.
En resumen, tenemos la misma vivienda modelada en 3 variantes para evaluar:

1-Vivienda existente construida en madera y con cámara de aire inferior.

2-Modelo de Vivienda existente adaptada al sistema construido en mampostería de ladrillos huecos, con revoques interiores y exteriores, y apoyada sobre el suelo.

3-Modelo de Vivienda existente adaptada al sistema construido en mampostería de ladrillos huecos, con revoques exteriores, a la que le sumamos aislación interior con revestimiento, apoyada sobre el suelo.

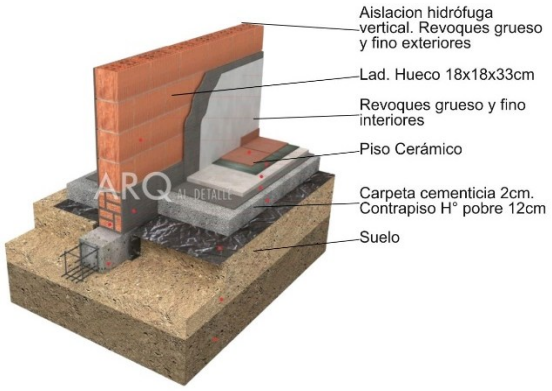




Fig10. Detalle envolvente modelo Mampostería *Fig.11.Detalle envolvente modelo Mampostería c/aislación*
Fuente: Edición propia de imágenes tomadas de https://arqaldetalle.com.

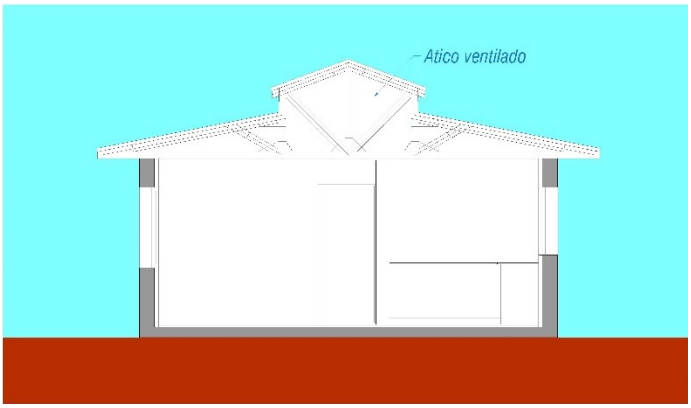


Figura 12. Corte transversal del modelo de vivienda adaptada al sistema constructivo en mampostería.

2.3. Ingreso del modelo en el aplicativo informático del PRONEV.

Describiremos en esta sección la introducción del modelo descripto en el Aplicativo informático del PRONEV, destacando los criterios elegidos en las distintas etapas de ingreso de la información, conformación del prototipo y simulación. Cabe aclarar que no somos certificadores oficiales, y que esta es nuestra primera experiencia, para la cual nos hemos capacitado a través de videos, cursos, el manual del aplicativo y sus planillas de relevamiento [3,4]

-Tipo de suelo: Arcilla o limo

Tipo de ventilación: Ventilación cruzada

-Ubicación en altura: En altura inferior a 20m (vivienda hasta 5to piso, inclusive)

-Grado de exposición a la intemperie: Alto (zonas llanas, poco onduladas con obstrucciones dispersas, como árboles o construcciones aisladas)

-Ambientes:

Ambientes climatizados: Cocina y Estar-Comedor. Estos locales conforman la única zona térmica definida.

Ambientes no climatizados: Baño, Dormitorio y Lavadero

-Envolventes:

Paredes: las opciones personalizadas se pudieron adaptar sin inconvenientes a los diferentes sistemas constructivos empleados.

Puertas y Ventanas: las puertas incorporadas a los tabiques a cuáles corresponde su ubicación, se tratan de las llamadas tipo placas. Las ventanas son de aluminio sin ruptura de puente térmico, con vidrio laminado de 3+3mm.

Obstáculos (sombras): se incorporó en las envolventes correspondientes la sombra del ejemplar de hoja perenne con follaje de densidad intermedia.

Solados y Cubiertas: las opciones personalizadas utilizadas para representar los solados y la cubierta nos permitieron, además de incorporar las distintas capas, detallar las cámaras de aire inferior y superior, elementos de vital importancia en este sistema constructivo en madera.

-Instalaciones:

Calefacción: La vivienda cuenta con un calefactor de tiro balanceado de 5700 kcal/h, etiquetado de eficiencia energética Clase A, ubicado en el Estar.

Refrigeración: Cuenta con un equipo de aire acondicionado de 3000 fg/h, ubicado en Estar.

Agua caliente sanitaria: en este caso hay una particularidad, ya que se comparte el sistema con los vestuarios del polideportivo, por lo que el equipamiento es de importante capacidad. Cuentan con un termotanque a gas natural de 30000 kcal/h (modelo anterior a 2018 sin etiqueta de eficiencia energética), en combinación con dos termotanques solares de 300 litros, cuyas características son: área de captación solar 3.48m2, coeficiente global de pérdidas de térmicas (F_rU_L) de 3.00, factor de eficiencia óptica (n_0) de 0.60. Si bien se podría haber optado por afectar con un porcentaje de ponderación el uso de las instalaciones de agua caliente, ya que es de uso compartido, se optó por mantenerlo tal cual la descripción.

3. RESULTADOS.

Se muestran en esta sección las tablas y cuadros que expresan los resultados de la simulación de los prototipos en el Aplicativo.

Podemos apreciar en la Figura 13, 14 y 15 el Coeficiente Global de Intercambio Térmico que es la suma de los coeficientes Htr (transmisión por envolvente), Hg (transmisión por terreno) y Hve (transmisión por ventilación) de nuestros casos de estudio para invierno y para verano. Este coeficiente describe la velocidad a la cual la vivienda intercambia energía, cuando la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior es igual a 1°C. En el caso del modelo construido en madera no tenemos transmisión por terreno (Fig.13). Entre los modelos de mampostería, el que tiene aislación tiene un coeficiente de transmisión más bajo, igualando prácticamente al de Madera (Fig.15). En tanto que el coeficiente por ventilación se mantiene constante.

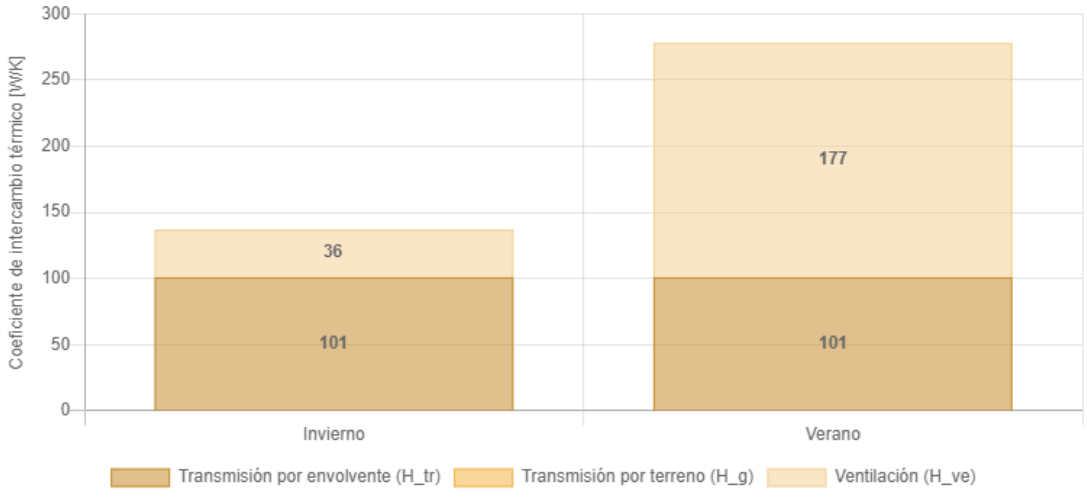


Figura 13. Coeficientes globales de intercambio térmico Modelo Madera.

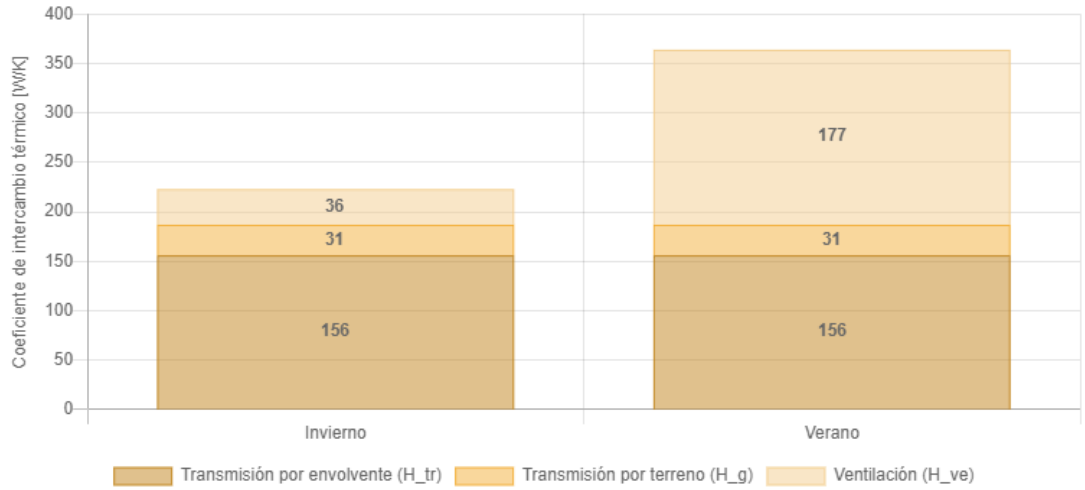


Figura 14. Coeficientes globales de intercambio térmico Modelo Mampostería.

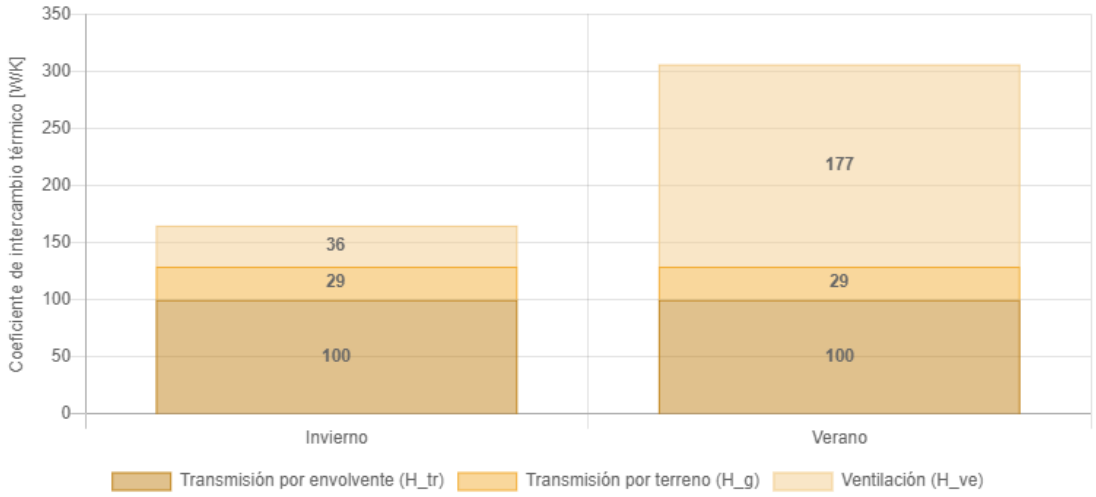


Figura 15. Coeficientes globales de intercambio térmico Modelo Mampostería c/aislación.

En la figura 16, 17 y 18 podemos apreciar los requerimientos anuales de energía primaria específicos para cada uso en nuestro caso de estudio. El mayor requerimiento se da para la calefacción de la vivienda. La construcción en madera necesita menor cantidad de energía primaria para calefacción, pero apenas más para refrigerarla. La iluminación se mantiene constante y el aporte de las energías renovables, colector solar, se usa para el servicio de agua caliente sanitaria (ACS).

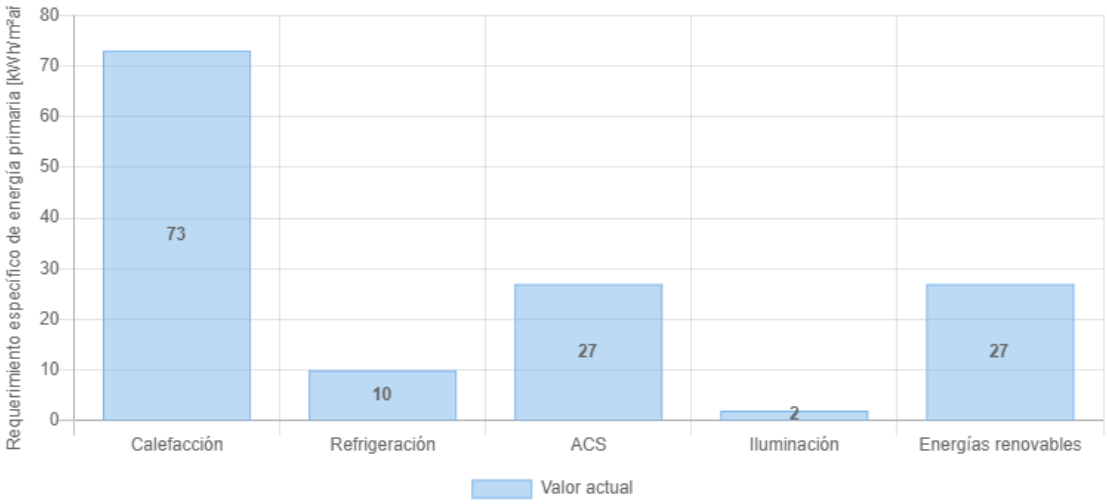


Figura 16. Requerimiento específico de energía primaria Modelo Madera.

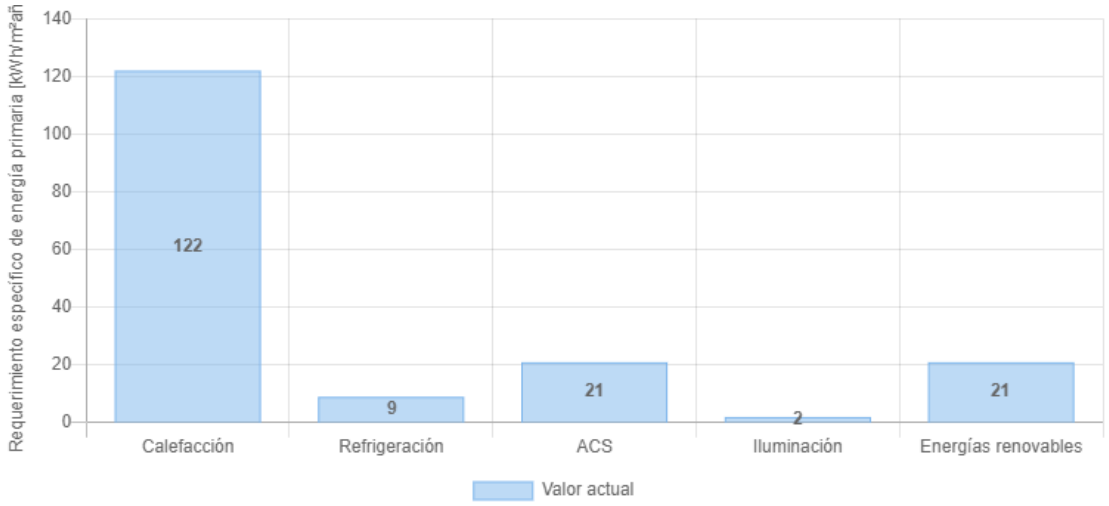


Figura 17. Requerimiento específico de energía primaria Modelo Mampostería.

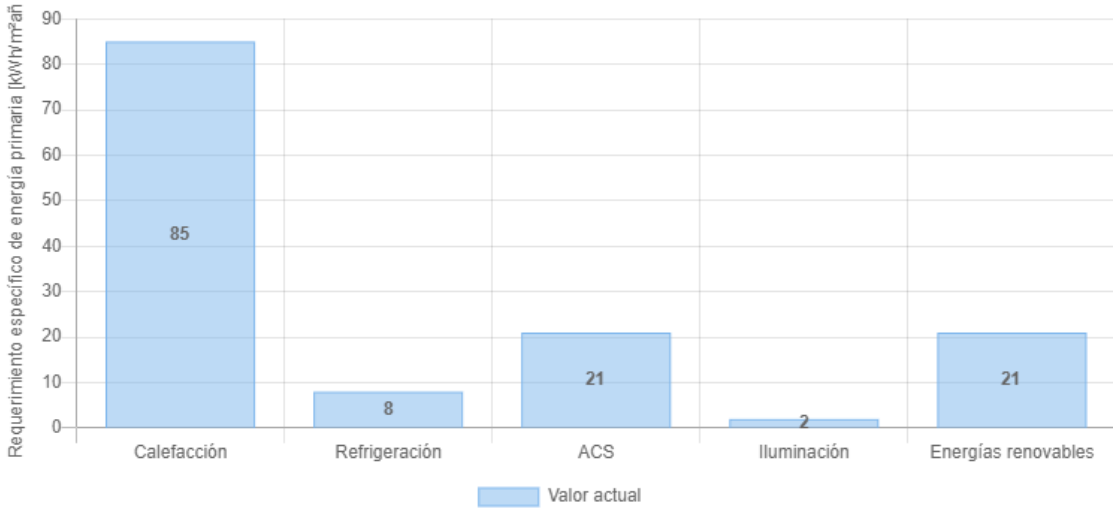


Figura 18. Requerimiento específico de energía primaria Modelo Mampostería c/aislación.

El Índice de Prestaciones Energéticas (IPE) es un valor característico de la vivienda expresado en kWh/m2 año y representa el requerimiento teórico de energía primaria para satisfacer las necesidades de calefacción en invierno, refrigeración en verano, calentamiento de agua sanitaria e iluminación, durante un año y por metro cuadrado de superficie, bajo condiciones normalizadas de uso.

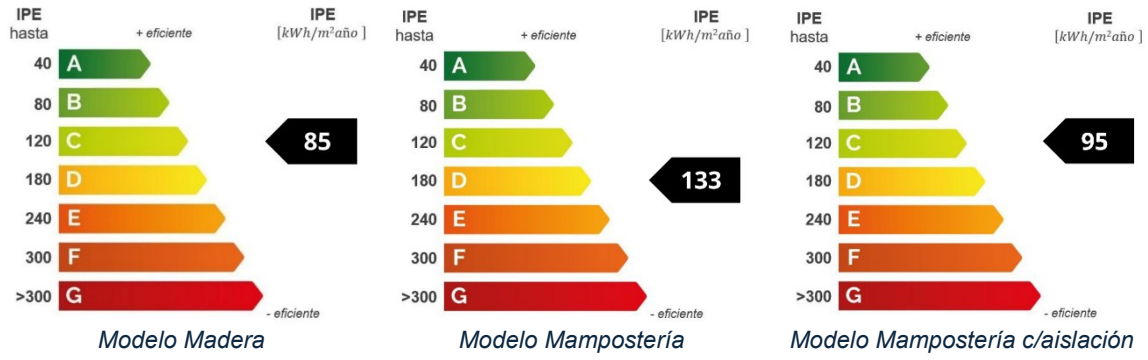


Figura 19. Etiquetas de eficiencia energética no oficial. Elaboración propia con las referencias del Manual del usuario del Aplicativo Informático Nacional de Etiquetado de Viviendas. Versión 2.2.0

En la figura 20, 21 y 22 se aprecia un cuadro general con el dato final de IPE de cada modelo evaluado, además de los requerimientos especifico de energía útil, neta y primaria. El índice final lo determina el requerimiento de energía primaria. En el Modelo de madera, dicho requerimiento especifico global es de 112, el cual determina un Índice de Prestación Energética de 85 KWh/m2año debido a la contribución especifica de energía renovables de aproximadamente un 24 %. El valor arrojado ubica al modelo en la categoría C (Figura 16). En el mismo cuadro de la figura 17 podemos también apreciar las características dinámicas tanto para inverno como verano como ser:

-Relación entre aportes y pérdidas y/o dispersiones térmicas (γ): es el cociente entre las ganancias y las pérdidas de energía, para invierno y para verano.

-Factor de utilización (η): indica qué fracción de las ganancias / pérdidas calculadas se aprovecha para disminuir los requerimientos de energía de calefacción y refrigeración, respectivamente.

-Fracción del requerimiento obtenido / evitado por aportes gratuitos / dispersiones térmicas: es el producto entre η y γ, para invierno y el cociente entre η y γ, para verano.

En este caso de estudio en invierno la vivienda gana 35 unidades de energía, por cada 100 de pérdidas. De las ganancias calculadas 62% son aprovechadas para disminuir el requerimiento de energía. El producto entre η e γ es 0,22 un numero bastante alejado de 1,00.

En verano, la vivienda gana 37 unidades de energía, por cada 100 de pérdidas. De las dispersiones calculadas, el 19% son aprovechadas para disminuir el requerimiento de energía. Esto determina que la fracción del requerimiento evitado por dispersiones térmicas sea de 0,51.

Podemos apreciar muy poco cambio entre el modelo en estudio de madera y el modelo de mampostería con aislación, ambas dentro de la categoría C, con un IPE de 85 la primera y 95 la segunda, y un requerimiento especifico global de energía es de 112 y 116.



	Requerimiento específico de energía [kWh / m²año]		
	Útil	Neta	Primaria
Calefacción	42	59	73
Refrigeración	9	3	10
Producción ACS	10	21	27
Iluminación	-	1	2
Requerimiento específico global de energía			112
Contribución específica de energías renovables			27
Índice de Prestaciones Energéticas			85

85 kWh/m²año

Cálculo de IPE según Simulación. Datos no válidos para etiquetado oficial de viviendas.

Características dinámicas

Invierno		Verano	
Relación entre aportes y pérdidas térmicos (γ_{inv})	0,35	Relación entre aportes y dispersiones térmicos (γ_{ver})	0,37
Factor de utilización de los aportes gratuitos (η_{gr})	0,62	Factor de utilización de las dispersiones térmicas (η_{disp})	0,19
Fracción del requerimiento obtenido de aportes gratuitos ($\gamma_{inv}\eta_{gr}$)	0,22	Fracción del requerimiento evitado por dispersiones térmicas (η_{disp}/γ_{ver})	0,51

Figura 20. Prestaciones energéticas Modelo Madera.



	Requerimiento específico de energía [kWh / m²año]		
	Útil	Neta	Primaria
Calefacción	69	98	122
Refrigeración	8	3	9
Producción ACS	10	17	21
Iluminación	-	1	2
Requerimiento específico global de energía			154
Contribución específica de energías renovables			21
Índice de Prestaciones Energéticas			133

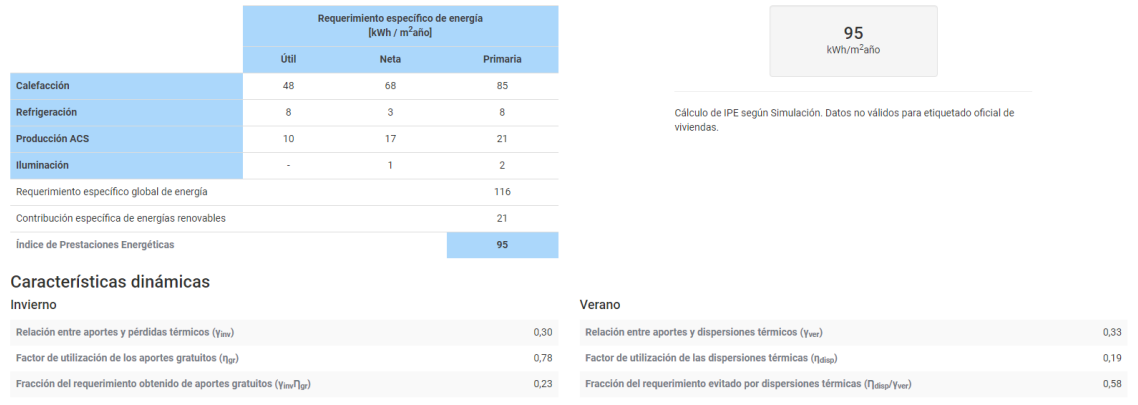
133 kWh/m²año

Cálculo de IPE según Simulación. Datos no válidos para etiquetado oficial de viviendas.

Características dinámicas

Invierno		Verano	
Relación entre aportes y pérdidas térmicos (γ_{inv})	0,24	Relación entre aportes y dispersiones térmicos (γ_{ver})	0,29
Factor de utilización de los aportes gratuitos (η_{gr})	0,81	Factor de utilización de las dispersiones térmicas (η_{disp})	0,18
Fracción del requerimiento obtenido de aportes gratuitos ($\gamma_{inv}\eta_{gr}$)	0,19	Fracción del requerimiento evitado por dispersiones térmicas (η_{disp}/γ_{ver})	0,62

Figura 21. Prestaciones energéticas Modelo Mampostería.



	Requerimiento específico de energía [kWh / m²año]		
	Útil	Neta	Primaria
Calefacción	48	68	85
Refrigeración	8	3	8
Producción ACS	10	17	21
Iluminación	-	1	2
Requerimiento específico global de energía			116
Contribución específica de energías renovables			21
Índice de Prestaciones Energéticas			95

95
kWh/m²año

Cálculo de IPE según Simulación. Datos no válidos para etiquetado oficial de viviendas.

Características dinámicas

Invierno

Relación entre aportes y pérdidas térmicos (γ_{inv})	0,30
Factor de utilización de los aportes gratuitos (η_{gr})	0,78
Fracción del requerimiento obtenido de aportes gratuitos ($\gamma_{inv}\Gamma_{gr}$)	0,23

Verano

Relación entre aportes y dispersiones térmicos (γ_{ver})	0,33
Factor de utilización de las dispersiones térmicas (η_{disp})	0,19
Fracción del requerimiento evitado por dispersiones térmicas ($\Gamma_{disp}/\gamma_{ver}$)	0,58

Figura 22. Prestaciones energéticas Modelo Mampostería c/aislación.

En la figura 23, 24 y 25 podemos apreciar los requerimientos anuales de energía secundaria específicos por uso. Las energías secundarias utilizadas son gas distribuidos por redes y electricidad, la primera con el mayor requerimiento para calefacción y producción de agua caliente sanitaria y la segunda con un menor requerimiento para refrigeración e iluminación. El consumo de energía secundaria, gas distribuido por redes, es levemente inferior en el modelo de madera con respecto al modelo de mampostería con aislación, 5.745 KWh/año en el primer caso y 6.069 KWh/año en el segundo

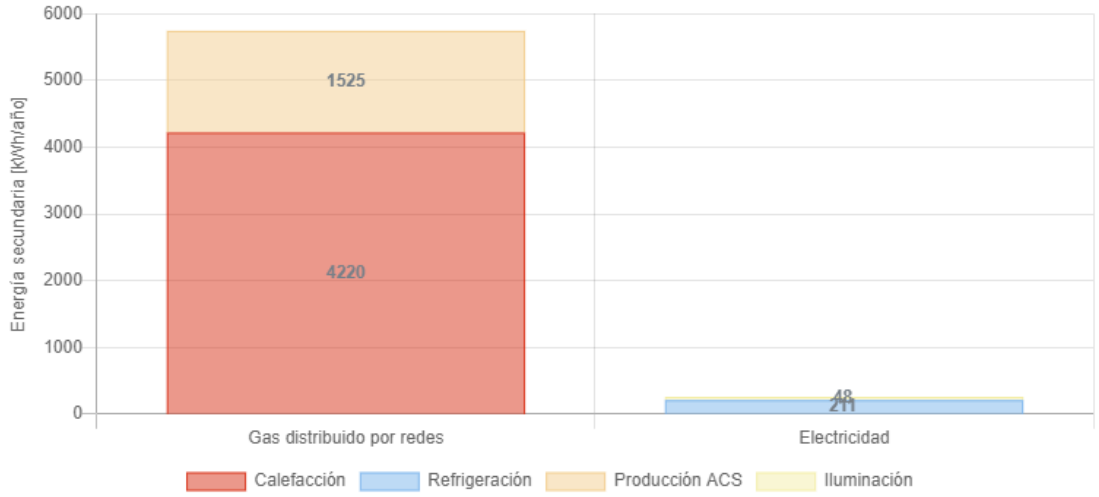


Figura 23. Detalle de requerimiento de energía secundaria Modelo Madera.

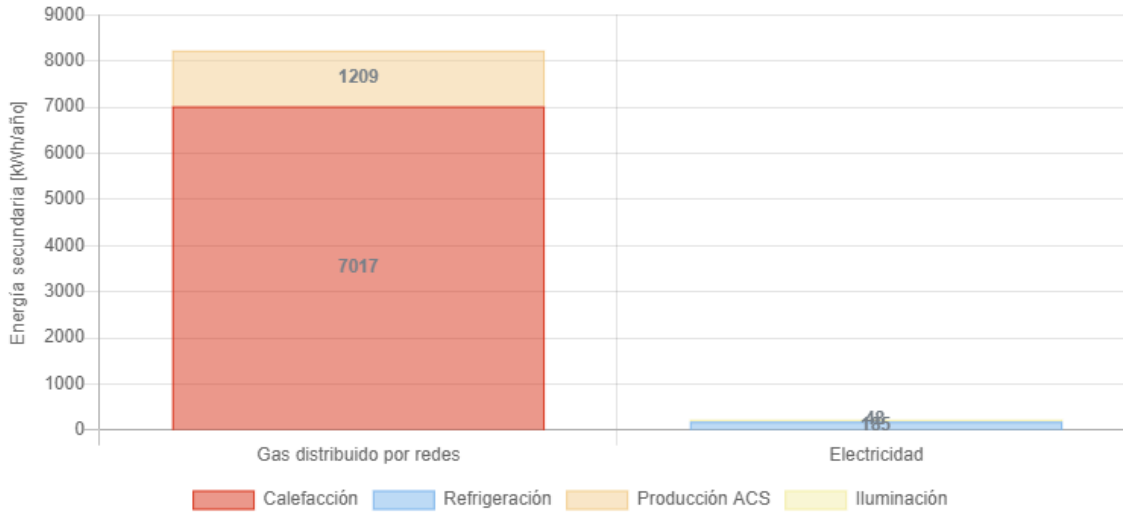


Figura 24. Detalle de requerimiento de energía secundaria Modelo Mampostería.

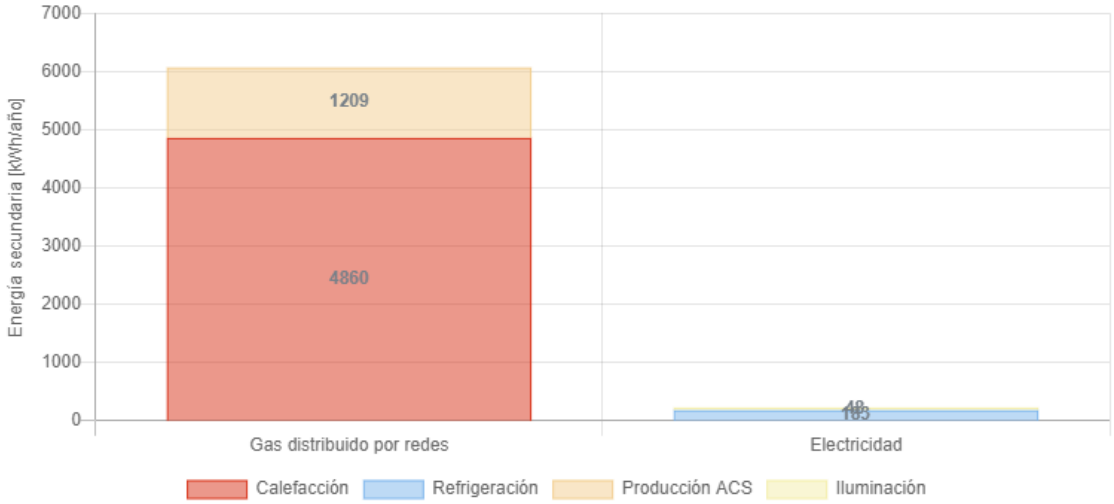


Figura 25. Detalle de requerimiento de energía secundaria Modelo Mampostería c/aislación.

4. CONCLUSIONES.

En esta primera experiencia de etiquetado de viviendas mediante el Aplicativo informático del PRONEV, consideramos que el proceso de ingreso en la plataforma de los datos y componentes del modelo original construido en madera resultó adecuado respecto a reflejar, mediante las opciones que ofrece, las diferentes composiciones materiales de las envolventes, y de esa manera obtener resultados que nos permitan analizar fehacientemente dicho modelo. Condiciones particulares que estimamos importantes como las cámaras de aires superior (ático) e inferior (bajo piso), pudieron ser incorporadas al definir cubiertas y solados.

La intención de evaluar el modelo original construido en madera, con los modelos adaptados en mampostería cerámica también pudo ser procesada de manera correcta modificando las envolventes verticales y eliminando la cámara de aire inferior. La elección de los modelos con los cuales se comparó el modelo original radica en que son los más utilizados para la construcción de viviendas en la región.

Diversos estudios evidencian el buen desempeño de las envolventes construidas en madera respecto a la transmitancia térmica y el ahorro en consumo energético para climatización [5,6]. Con esos antecedentes promovidos por las características más destacadas del sistema constructivo en madera, como son los componentes utilizados en las envolventes y sus múltiples capas aislantes, sumados al diseño compacto de la vivienda, el aventanamiento de menores dimensiones en su cara sureste, las cámaras de aire mencionadas y su fachada ventilada, resultan buenas consideraciones que aportan para la posibilidad de un buen desempeño respecto a la eficiencia energética.

Las condiciones desfavorables respecto a su emplazamiento aislado de construcciones vecinas, el uso compartido con el Polideportivo de equipamientos de gran magnitud de ACS, resultan elementos perjudiciales en ese sentido.

La posibilidad de comparar este modelo original existente con los de mampostería cerámica permite verificar las consideraciones mencionadas y evaluar sus respectivos desempeños en relación a la prestación energética, incorporando información a la toma de decisiones sobre la elección de los mismos, para una vivienda de estas características.

Las evaluaciones obtenidas mediante el Aplicativo informático permiten evaluar los distintos componentes de manera individual, proporcionado información para aplicar mejoras puntuales. En ese marco consideramos que los índices podrían mejorar notablemente con la incorporación de algunas estrategias de diseño, como ser una galería semicubierta y vegetación de especies de hoja caduca en su cara noroeste, y un sistema de postigos para cerramiento exterior de las ventanas. A las modificaciones descriptas estimamos la incorporación de un termotanque solar de uso exclusivo de la vivienda, que nos permita un acercamiento más definido del uso eficiente de la energía.

Como lo hemos enunciado en la introducción, el PID continuará con la experimentación del uso del aplicativo y el modelo, pudiendo verificar el impacto de las estrategias de diseño y construcción, de acuerdo con los requerimientos de las diferentes zonas bioclimáticas de Argentina, incorporando la evaluación económica de las adaptaciones o mejoras.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

[1] G. Gabriel; E. Spavento; E. Muñoz; S. Alegre y C. Taraborelli; M. Refort y L. Acuña. "*Construcción en madera: acción conjunta entre organismos estatales de educación/extensión e investigación, una experiencia argentina"*. Revista Ciência da Madeira - RCM. 6. 254-263. 10.12953/2177-6830/rcm.v6n3p254-263. (2015).

[2] E. Muñoz y L. Ricci. "*Proyecto de Vivienda Ecosustentable"*. Tesis de grado. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata. 2016

[3] Programa Nacional de Etiquetado de Viviendas (PRONEV). Resolución N°5/2023 de la Secretaría de Energía del Ministerio de Economía.

[4] Manual del usuario del Aplicativo Informático Nacional de Etiquetado de Viviendas. Versión 2.2.0. Planilla de relevamiento del Aplicativo Informático Nacional de Etiquetado de Viviendas

[5] H. M. Alías y G. J. Jacobo. ***"****Eficiencia energética en viviendas sociales. Incidencia de la envolvente en el consumo eléctrico para mantener el bienestar higrotérmico en los espacios interiores"*. Revista Arquisur nº 1. pp 73 a 89. 2011.

[6] A. Bouvier y F. Mattiassi. *"Viviendas de entramado ligero de madera y de construcción húmeda. comparación de acondicionamiento térmico, condiciones de habitabilidad y energía para calefacción"*. XXXI Jornadas Forestales de Entre Ríos, Concordia, octubre de 2017.

"ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA, EVOLUCIÓN Y POTENCIAL DE LA ENERGÍA SOLAR EN ARGENTINA"

Aroca Bavich, Alejandro C., Bahamonde, Pablo J., Bjerring, Alan M.

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Santa Cruz
arocabavich@gmail.com; pablobahamonde@gmail.com; alanbj01@gmail.com

RESUMEN

El presente trabajo aborda la importancia de las energías renovables en el contexto de la transición energética, donde actualmente el 82% de las fuentes provienen de hidrocarburos, pero se avanza hacia un modelo más sostenible. Factores como la creciente demanda de energía, el agotamiento de los recursos fósiles, y las emisiones de gases de efecto invernadero impulsan este cambio. Se destaca la electrificación global y el rol crucial de tecnologías como la solar y eólica. En Argentina, aunque la matriz energética ha incluido fuentes de bajas emisiones como la hidroeléctrica y nuclear, el país tiene un alto potencial en energías renovables no convencionales, como la solar y eólica. Las leyes de fomento sancionadas desde 1998 buscan incentivar su desarrollo, pero factores macroeconómicos han frenado el progreso. La Ley 27.191 (2015) y el Programa Renovar han logrado avances significativos, con metas como alcanzar un 20% de energía renovable para 2025. El trabajo también analiza la evolución de la importación de módulos solares en Argentina, estacando el impacto de políticas y fluctuaciones en el mercado global. Finalmente, se concluye que la tendencia apunta a una reducción en los costos de la tecnología solar, lo que favorece su adopción en la matriz energética nacional.

Palabras Claves: Energías renovables, Transición energética, Energía solar.

ABSTRACT

The present work addresses the importance of renewable energy within the context of the energy transition, where currently 82% of energy sources are derived from hydrocarbons, yet progress is being made towards a more sustainable model. Factors such as the growing energy demand, the depletion of fossil fuel resources, and greenhouse gas emissions are driving this shift. Global electrification and the crucial role of technologies like solar and wind are highlighted. In Argentina, although the energy matrix has historically included low-emission sources such as hydroelectric and nuclear power, the country has significant potential in non-conventional renewable energy sources, such as solar and wind. The promotion laws enacted since 1998 aim to foster their development, but macroeconomic factors have hindered progress. Law 27.191 (2015) and the RenovAr Program have made significant advances, with goals such as reaching 20% renewable energy by 2025. This work also analyzes the evolution of solar module imports in Argentina, emphasizing the impact of policies and global market fluctuations. Finally, it concludes that the trend points to a reduction in solar technology costs, facilitating its adoption into the national energy matrix.

Keywords: Renewable energy, Energy transition, Solar energy.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Las energías renovables y la transición energética.

Actualmente, se estima que aproximadamente el 82% de las fuentes energéticas utilizadas por la humanidad provienen de combustibles relacionados con la cadena de hidrocarburos, como el carbón, el petróleo o el gas (Cameron et Al, 2021). Sin embargo, hoy estamos asistiendo a un cambio de paradigma en todos los eslabones del modelo energético global, sustancialmente distinto al hegemónico que ha predominado hasta ahora. Resulta claro que los recursos y tecnologías convencionales de producción y consumo, basados principalmente en hidrocarburos como fuente primaria de energía, tienen límites y no son viables de manera indefinida.
Esta situación tiene un origen multicausal, que puede resumirse en:

- Una demanda energética siempre creciente. Se estima que el consumo global de energía crecerá a un ritmo de 1% anual hasta 2040 (IEA 2018)
- Restricciones de la propia naturaleza limitada del recurso, asociada al concepto del peak oil, y ya manifestada desde las crisis del petróleo de los años 70 y el informe “Los Límites del Crecimiento”. (Mayor Zaragoza 2013)
- Concentración geográfica de las reservas, que se relacionan con tensiones y conflictos geopolíticos globales recurrentes y crecientes, que a su vez afectan la disponibilidad y precio, amenazando la seguridad en el acceso al recurso.
- Contribución relevante del uso de hidrocarburos en el incremento global de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), que a su vez son causantes del Cambio Climático, con profundas implicancias sobre el ambiente y los sistemas productivos y socio-económicos en todo el planeta.

Junto al cambio en las fuentes primarias, habrá una creciente electrificación, tanto por la mayor penetración de tecnologías eléctricas en el hogar, comercio e industria, como por el crecimiento de la electromovilidad. También aumentará la demanda global de energía destinada a tecnologías digitales como uso de internet y centros de datos masivos, minería de criptomonedas y recientemente el crecimiento en el uso de la inteligencia artificial. Todo esto se traduce en una mayor exigencia sobre la infraestructura energética (y las emisiones de GEI asociadas a la generación).
Entonces, resulta crítico para los gobiernos la implementación de fuentes y usos energéticos que ofrezcan mayor seguridad, accesibilidad y reducción de emisiones de GEIs, orientado principalmente al uso de la electricidad como vector energético, sin perjudicar el desarrollo socio-económico de la población. Este panorama se refleja en los estudios de Cameron y Carley (Cameron 2021, Carley 2020) donde se analizan y describen periodos de más de 30 años para alcanzar la neutralidad de carbono, gran parte de esta neutralidad y el esfuerzo científico, tecnocrático e industrial se perfila hacia la generación distribuida, tanto solar como eólica entre otras fuentes renovables.
A estos esfuerzos y políticas, orientados a transformar la producción, distribución y consumo de energía hacia un sistema descarbonizado, basado principalmente en fuentes renovables y limpias, junto con el uso final eficiente, se los denomina en conjunto Transición Energética. Este proceso tiende a adoptar a la electricidad proveniente de fuentes renovables como principal vector energético, a pesar de su naturaleza intermitente, con el gas natural como combustible de transición.
Como ejemplo de compromisos políticos, en 2018 el Parlamento de la Unión Europea definió, como Directivas a los Miembros, que en 2030 el 32% de la energía del bloque provendrá de fuentes de renovables (IRENA 2023), Y en la Cumbre por el clima N° 28 (COP28, 2023), 116 países firmaron el Compromiso Mundial por las Energías Renovables y la Eficiencia Energética , acordando triplicar la capacidad mundial instalada de generación de energía renovable (hasta unos 11.000 GW) hasta 2030.
Por otro lado, desde el año 2010 se observa un crecimiento acelerado a nivel mundial de la energía eléctrica producida a partir de fuentes renovables, con la fotovoltaica como protagonista, seguido por la eólica.

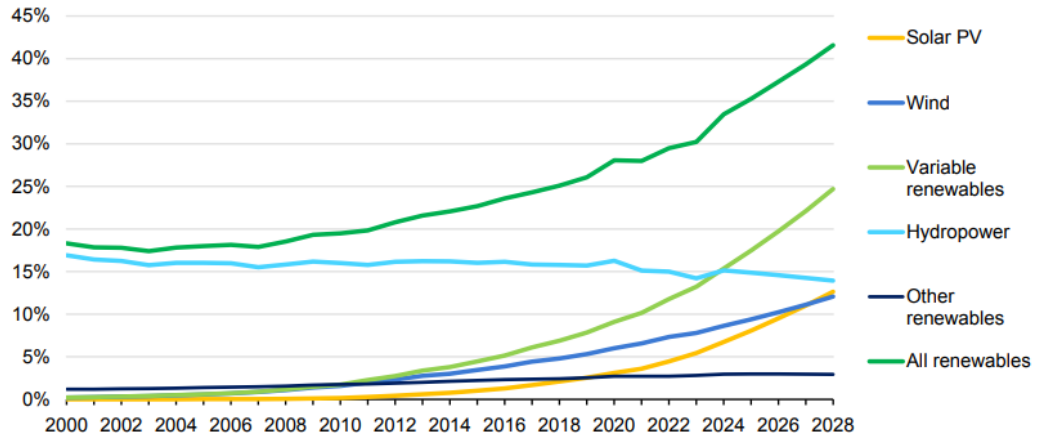


Figura 1. Evolución de la generación eléctrica renovable mundial (Por IEA, 2023)

La explicación de este desarrollo exponencial se encuentra tanto en la mayor demanda mundial por energías limpias, como por el derrumbe de precios asociados con la tecnología fotovoltaica, a partir de la irrupción masiva de la industria china en el sector, reduciendo los costos a valores del 10% en 2022 respecto a 2010.

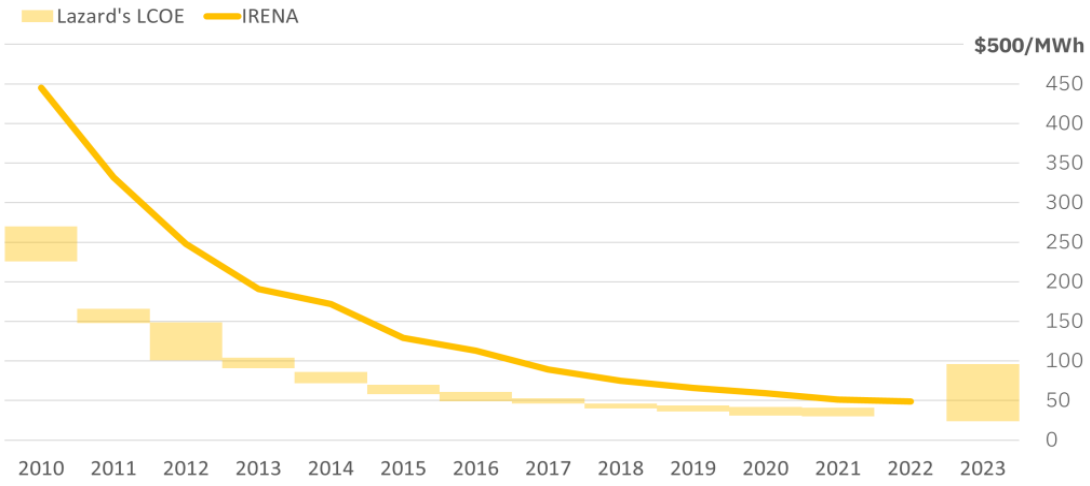


Figura 2. Costo promedio nivelado de la electricidad (LCOE) en solar fotovoltaica (Por IRENA (2023)

1.2 La situación de las renovables en la Argentina

En cuanto a la Argentina, históricamente su matriz energética mantuvo una componente de relevante de bajas o nulas emisiones de GEIs (como la generación hidroeléctrica y la nuclear), representando alrededor del 25-30% de la matriz energética. Estas fuentes alcanzaron un punto de estabilización hacia principios del siglo XXI, dados los costos y el impacto ambiental que representan. Y fueron cediendo participación a fuentes más económicas y versátiles, esencialmente basadas en el uso de hidrocarburos, incluyendo al gas natural.

Sin embargo, la Argentina presenta un potencial energético enorme de otras fuentes renovables, como el sol, el viento, la biomasa y las energías marinas (llamadas energías renovables no convencionales o ERNC), tal como evidencian los atlas de recursos eólico y solar de la figura 3.

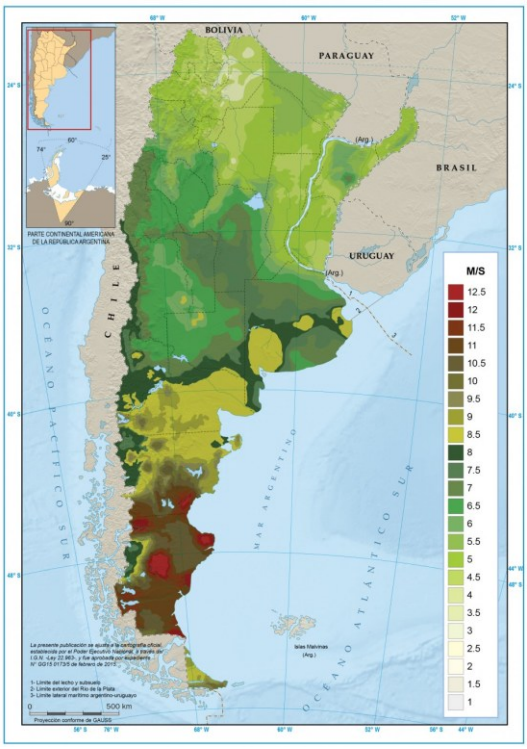


Figura 3. Potencial energético eólico

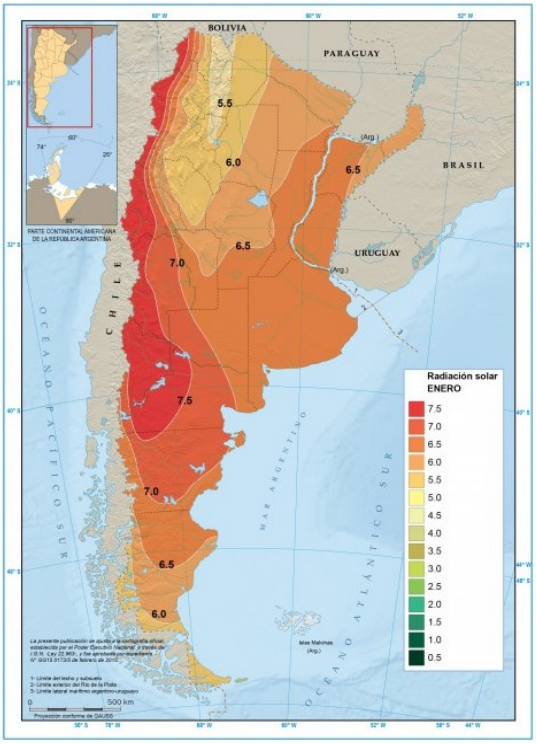


Figura 4. Potencial energético solar

Entonces, la política energética nacional contempla la incorporación de fuentes renovables basadas en estos recursos desde el año 1998, cuando se sancionó la ley Ley 25.019, “Régimen nacional de energía eólica y solar.” Luego, en 2007 se sancionó la Ley 26.190 “Régimen de Fomento Nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica.”. Pero por cuestiones macroeconómicas, ambas leyes no lograron el resultado esperado. Hubo que esperar hasta 2015, con la Ley 27.191 “Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica” y 2017, con la Ley 27.424 “Régimen de Fomento a la Generación Distribuida de Energía Renovable integrada a la Red Eléctrica Pública” para que se implementen instrumentos que impulsen de manera eficiente el desarrollo de estas tecnologías en nuestro país.

Un hito importante es el establecimiento de la meta de alcanzar el 20% de generación renovable no convencional para el año 2025 (Ley 27.191), para lo que se implementaron un conjunto de herramientas, de las cuales las más relevantes son:

-El Programa Renovar, que incorporó 5.300 MW de potencia renovable, a partir de 147 instalaciones de generación conectadas al SADI (sistema Argentino de Interconexión), mayormente constituidas por centrales eólicas y fotovoltaicas a lo largo de todo el país.

- El Mercado a Término de Energías Renovables (MATER, Ley 27.191), que posibilita la compra de energías renovables entre privados (sin intervención del Mercado Eléctrico Mayorista o MEM), mediante contratos específicos entre ellos (PPA, Power Purchase Agreement). De esta manera,actualmente hay 1.750 MW adicionales de energía limpia en el sistema energético nacional.

- El Régimen de Generación Distribuida (Ley 27.424), que instaura la figura del usuario-generador, y que permite que usuarios particulares de la red de distribución eléctrica puedan generar energía limpia para su autoconsumo, y puedan inyectar excedentes a la red de distribución local, siendo remunerados mediante un esquema de balance neto de facturación (net billing). Con este modelo, actualmente hay 1.992 usuarios generadores, que aportan otros 45 MW de energía renovables.

En la figura 5 se puede apreciar la evolución del desarrollo de las tres herramientas

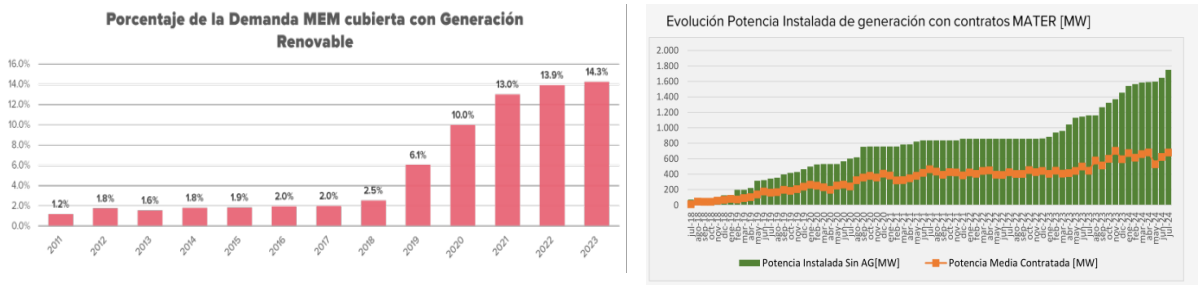


Figura 5. Evolución de la potencia renovable instalada en la Argentina, tanto en el MEM (2010-2023) como en el MATER (2018-2024)

1.3. La energía solar fotovoltaica en nuestro país

Como se aprecia en la figura 5, hubo un crecimiento importante en el aprovechamiento de energías renovables a partir del año 2018. Y una parte significativa (16%) corresponde a la energía solar fotovoltaica. Esta participación, sumada al potencial energético solar tan importante que tiene nuestro país, implican que se trata de un sector en pleno desarrollo, y que es relevante conocer mejor sus características y evolución.

El principal insumo de los sistemas fotovoltaicos son los denominados paneles o módulos, constituidos a su vez por celdas fotovoltaicas, que se encargan de realizar la conversión de la radiación solar incidente en energía eléctrica. En nuestro país, si bien cuenta con la materia prima y la capacidad tecnológica para producir celdas solares (con antecedentes de fabricación en la Comisión Nacional de Energía Atómica, y un proyecto en marcha por parte del gobierno de la provincia de San Juan para montar una planta en esa provincia), los costos y la escala de producción necesaria para que resulte competitiva con las importaciones, especialmente las provenientes de la República Popular China, hacen que no resulte viable la producción local. Entonces, para las instalaciones fotovoltaicas de nuestro país se importan mayormente los módulos, y en una proporción mucho menor las celdas individuales, para luego montarlas en módulos nacionales (como realiza la empresa LV Energy, en la provincia de San Luis)

1.4. Clasificación aduanera de módulos y celdas solares.

Los dos insumos mencionados, módulos y celdas fotovoltaicas, se tipifican en el Nomenclador Común del Mercosur (NCM) de la siguiente manera:

- Células solares sin montar (NCM 85414016): Este término referencia a células solares individuales en su estado más básico y no ensambladas en ningún tipo de estructura o sustrato. Estas células son dispositivos semiconductores capaces de convertir la energía solar en energía eléctrica a través del efecto fotovoltaico. Sin embargo, en este estado, carecen de la protección y de los circuitos eléctricos necesarios para su integración directa en sistemas más complejos, como módulos o paneles. Son generalmente empleadas en investigación y desarrollo, o bien en aplicaciones específicas donde se requiere el uso directo de células individuales.
- Células solares en módulos o paneles (NCM 85414032): Este concepto hace referencia a células solares que han sido integradas y encapsuladas en estructuras modulares o paneles. Estas estructuras están diseñadas para proteger las células solares de las condiciones ambientales adversas, como la humedad y la radiación ultravioleta, y para facilitar su instalación en sistemas energéticos más grandes. Además, los módulos o paneles suelen incluir circuitos eléctricos que permiten la interconexión de múltiples células, mejorando así la eficiencia y la capacidad de generación de energía. Este formato es el más comúnmente utilizado en aplicaciones comerciales y residenciales para la generación de energía eléctrica a partir de la energía solar.

- Células fotovoltaicas en módulos o paneles excluidos fotodiodos y células solares (NCM 85414039): Este término se utiliza para describir conjuntos de células fotovoltaicas integradas en módulos o paneles, con la particularidad de que se excluyen explícitamente los fotodiodos y las células solares básicas.

2. OBJETIVOS DEL TRABAJO.

En el presente trabajo se buscó realizar una aproximación al análisis de la evolución en la importación de módulos solares, en busca de entender el comportamiento y la inserción de la tecnología solar fotovoltaica en la matriz energética nacional, correlacionando la evolución con el contexto normativo y económico del país.

3. MATERIALES Y METODOS

Para el desarrollo de esta actividad se recurrió a información primaria obtenida atraves del Instituto Nacional de censos y estadísticas (INDEC), particularmente consultando la información de comercio exterior de bienes.

Para proceder a recabar la información se seleccionaron determinadas claves que incoporan los módulos que se consideraron más representativos de la importación en cuestión, a saber:

Clave NCM 85414016 – Células Solares sin montar

Clave NCM 85414032 – Células solares en módulos o paneles

Clave NCM 85414039 – Células fotovoltaicas en módulos o panales excluidos fotodiodos y celular solares

Para todos los casos se decidió extraer tanto el Peso Neto en kilogramos importado y su Monto CIF en dólares estadounidenses

Se capturo la información desde el año 2002, hasta el año 2023, últimos datos disponibles a la fecha de realización del trabajo, en todos los casos se utilizó el dato anualizado.

Se estimaron los costos unitarios en unidades monterías por kilogramos importado a fin de poder estudiar el comportamiento de esta variable derivada

Finalmente se totalizaron los valores tanto en peso como en monto CIF sin discriminar categorías, con el objeto de analizar la tendencia general

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 6 se puede observar la evolución tanto del monto CIF como de los kilogramos importados de los módulos 85414016. En la serie, se puede ver un incremento sostenido desde 2002 hasta 2007, seguido de una meseta que dura aproximadamente una década. Finalmente, se muestra un marcado descenso progresivo hasta la actualidad, con excepción del año 2019, donde se manifiesta una clara excepción respecto al resto de los años, siendo notorio el incremento en el volumen asociado a ese año, no solo en este punto sino más bien en todos los rubros. Se puede concluir que la importación de este tipo de componentes ha disminuido a lo largo del último periodo.

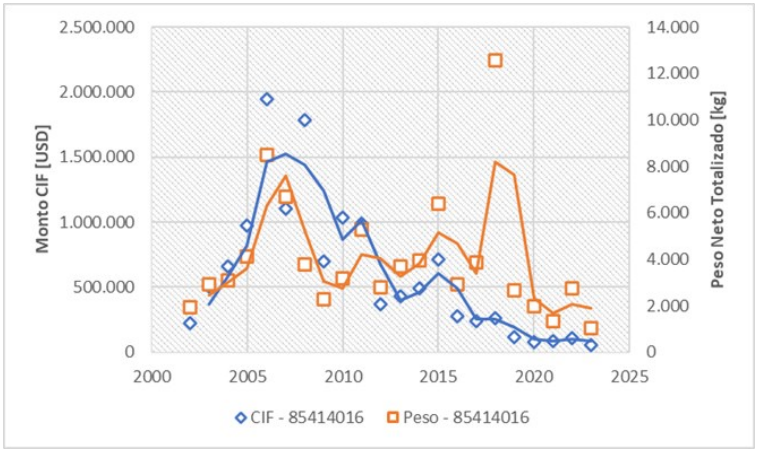


Figura 6 - Peso y CIF, células solares sin montar

En la Figura 7 se puede observar un marcado crecimiento tanto en los montos como en los kilogramos a partir del año 2018. Antes de esa fecha, el comportamiento presenta una meseta con variaciones despreciables. Es importante mencionar que en 2019 también se registra un crecimiento abrupto en este rubro. No obstante, a partir de 2020, la tendencia de importación se vuelve creciente a un ritmo muy acelerado. Este rubro representa uno de los elementos que más peso aporta en el análisis, superando significativamente el peso y monto CIF de los otros rubros.

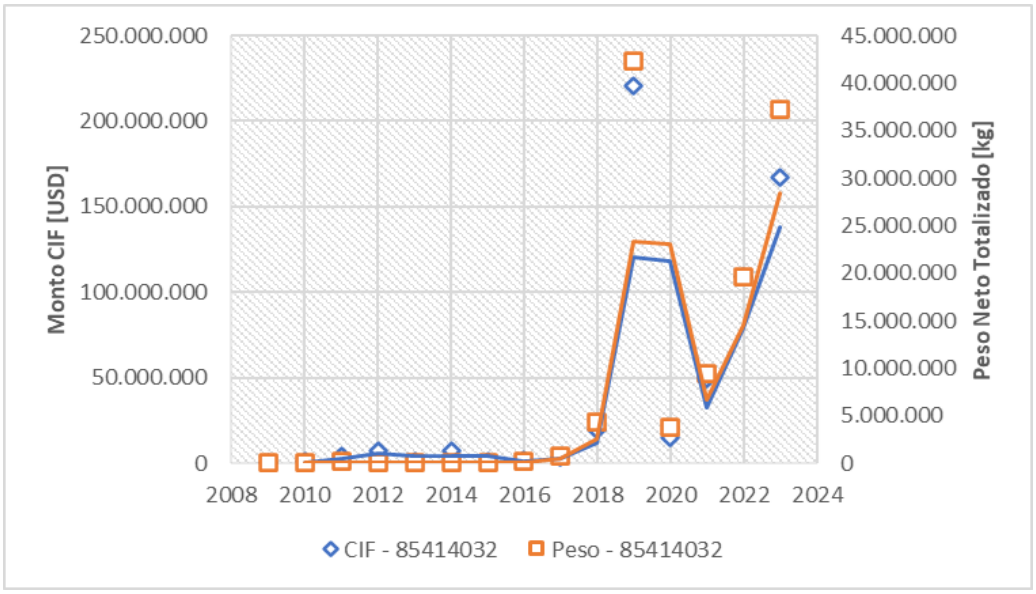


Figura 7 - Peso y CIF, Células solares en módulos o paneles

Para el caso de la Figura 8 se puede observar una tendencia relativamente constante, con la excepción de los periodos 2011-2012 y 2016-2018 en donde se pueden apreciar valores muy por encima de la media, en el primer caso más de 5 veces por sobre el promedio y 3 veces por encima para el segundo. Para el caso de estos índices puntuales resultaría de interés evaluar los posibles eventos que los originaron, en principio se puede inferir que tienen alguna relación directa con algún incentivo planteado desde el estado.

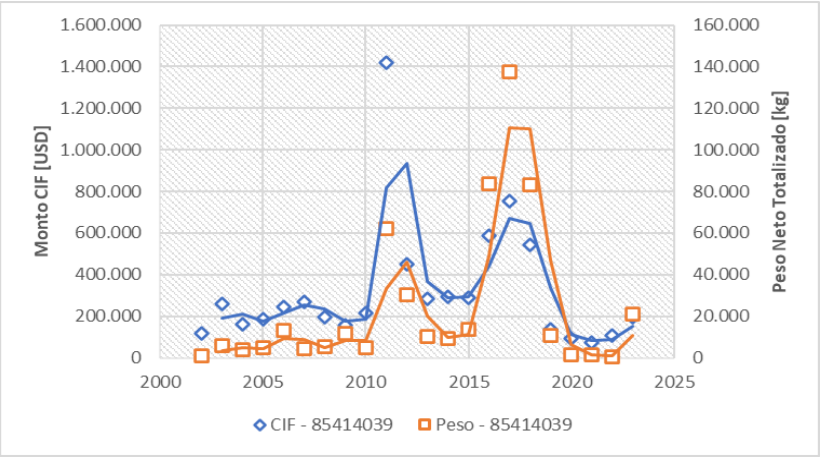


Figura 8 - Peso y CIF, Células fotovoltaicas en módulos o paneles excluidos fotodiodos y células solares

En la Figura 9 se observa un comportamiento similar al de la Figura 2 y eso se debe a la diferencia de escala que se observa en los productos, al totalizarlo, la muestra final se ve fuertemente ponderada por los módulos NCM 85414032.

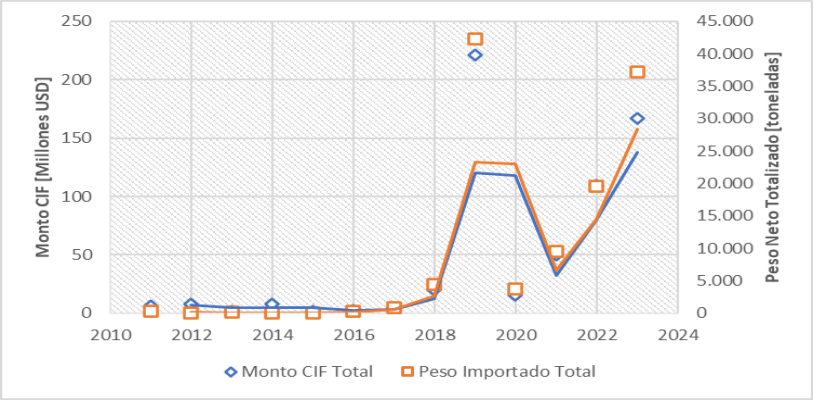


Figura 9 - Totalizado Módulos Solares

En las figuras 10, 11 y 12 se observa para el caso de los módulos NCM 85414016 y NCM 85414032 un marcado descenso de costo por kg a través de los años, siendo el módulo restante el único que presenta un incremento en los costos durante los últimos años, no obstante, la tendencia generalizada apunta a un descenso del costo unitario de la tecnología, especialmente si se consideran los volúmenes importados.

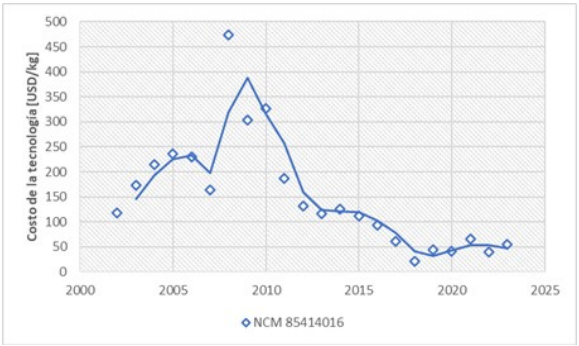


Figura 10 - Costo de la tecnología, Células Solares sin montar

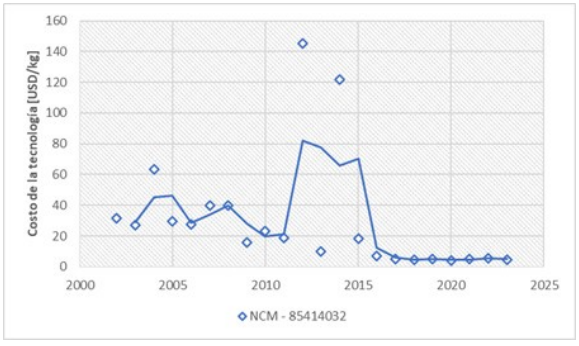


Figura 11 - Costo de la tecnología, Células solares en módulos o paneles

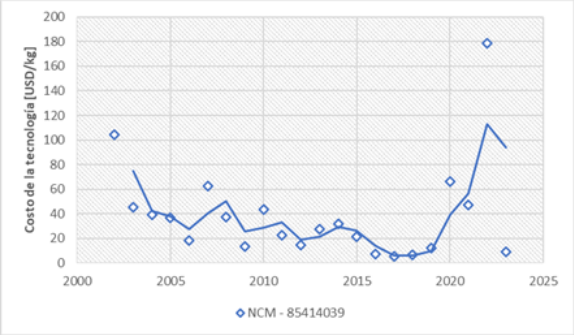


Figura 12 - Costo de la tecnología, Células fotovoltaicas en módulos o paneles excluidos fotodiodos y células solares

Ponderando el análisis de las importaciones de componentes fotovoltaicos en Argentina se revelan comportamientos diferenciados según el tipo de producto. Por un lado, las células solares sin montar muestran un crecimiento sostenido hasta 2007, seguido por una meseta de una década y un descenso progresivo en los últimos años, con la excepción de un pico significativo en 2019. Por otro lado, las células integradas en módulos o paneles presentan un notable aumento a partir de 2018, acelerándose desde 2020, lo que sugiere una expansión en el mercado de estas tecnologías.

Además, se observa una tendencia general de reducción del costo unitario de la tecnología fotovoltaica, lo que indica mejoras en la eficiencia y economías de escala, a pesar de ciertas fluctuaciones en los volúmenes importados. Sin embargo, uno de los productos ha mostrado un aumento de costos en años recientes, posiblemente vinculado a cambios tecnológicos o de suministro. En resumen, los resultados reflejan una evolución variada de las importaciones, marcada por reducciones de costos, una expansión en algunos productos y variaciones influenciadas por factores coyunturales y políticas específicas.

El presente trabajo abre las puertas a futuros desarrollos en los que se puede tratar de correlacionar estos fenómenos con cambios de políticas aduaneras, de aranceles, de tipo de importación, de mecanismos de exención de impuestos, fomentos o trabas no arancelarias, en busca de comprender de una forma más acabada el comportamiento de las curvas.

5. CONCLUSIONES.

Durante el trabajo se resalta la importancia de avanzar hacia fuentes de energía renovables ante el aumento sostenido de la demanda energética, la limitación de los recursos fósiles y la urgente necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. A nivel mundial, la electrificación impulsada por tecnologías como la energía solar y eólica será esencial para la descarbonización del sector energético.

El Argentina se cuenta con un enorme potencial en energías renovables no convencionales, especialmente en energía solar y eólica. Si bien históricamente la matriz energética ha incluido fuentes de bajas emisiones, como la hidroeléctrica y la nuclear, el desarrollo de energías renovables ha enfrentado limitaciones debido a factores macroeconómicos adversos.

La normativa argentina ha promovido el uso de energías renovables a través de leyes como la Ley 27.191 y el Programa RenovAr. Estos instrumentos han permitido importantes avances, con el objetivo de alcanzar un 20% de generación de energía renovable para 2025. Hasta el momento, se han instalado 5.300 MW de potencia renovable, principalmente a través de centrales solares y eólicas.

El análisis refleja una tendencia mundial de disminución en los costos de la tecnología solar, impulsada por la producción masiva en China. Esto ha favorecido la adopción de energía solar en Argentina, aunque el país sigue dependiendo de la importación de paneles solares debido a los altos costos de producción local.

Desde 2018, se ha registrado un crecimiento significativo de la energía solar fotovoltaica en Argentina, que actualmente representa el 16% de la capacidad instalada en energías renovables. Este crecimiento ha sido impulsado tanto por la reducción de costos tecnológicos como por el marco normativo que incentiva su desarrollo.

6. REFERENCIAS.

Cameron H., Ye Q., Nicholas S., Bob W., Chunping X., Dimitri Z. (2021), Towards carbon neutrality and China's 14th Five-Year Plan: Clean energy transition, sustainable urban development, and investment priorities, Environmental Science and Ecotechnology, Volume 8, 100130, ISSN 2666-4984.

Carley, S., & Konisky, D. M. (2020). The justice and equity implications of the clean energy transition. Nature Energy, 5(8), 569-577.

Efficiency, I. E. (2018). Analysis and Outlooks to 2040. *Paris: International Energy Agency*.

González, R. (2020). Matriz energética mundial y el cambio climático: estado actual. Recuperado de: http://hdl.handle.net/20.500.12010/15654.

Mayor Zaragoza, F. (2013). Los límites del crecimiento. https://enviromigration.wordpress.com/wp-content/uploads/2013/01/limites-crecimiento.pdf

Secretaría de Energía de la Nación Argentina. (2024). *Reporte de avance: Energías renovables junio 2024*. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/ppt_reporte_de_avance_junio_2024.pdf

United Nations Framework Convention on Climate Change. (n.d.). *5 key takeaways from COP28*. UNFCCC. https://unfccc.int/es/cop28/5-key-takeaways#end-of-fossil-fuels

World Energy Transitions Outlook 2023: 1.5°C Pathway, Volume 1, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. ISBN: 978-92-9260-527-8]

CoINI 2024
UTN·La Plata
XVII CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y AFINES

C – Operaciones y Logística

"REDISEÑO DE LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA EN UNA EMPRESA DE PRODUCTOS SALUDABLES: UN ENFOQUE BASADO EN SIMULACIÓN"

Gramigna Maciel, Nehuen; Tabone, Luciana

[1]*Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata*
gnehu.martin@gmail.com; ltabone@fi.mdp.edu.ar

RESUMEN

Este trabajo presenta un caso de estudio de una empresa especializada en el desarrollo y fabricación de productos para el cuidado de la salud, como suplementos nutricionales, medicamentos herbarios e infusiones de frutas y hierbas. A pesar del éxito sostenido en los últimos años, con procesos de expansión y mejora de sus operaciones, se ha identificado una oportunidad de mejora en la distribución física de sus instalaciones. El objetivo de este trabajo es diseñar y analizar y seleccionar nuevas propuestas de distribución en planta para la empresa mediante un enfoque de simulación de sistemas y análisis de escenarios. Se conforman una serie de familias de productos cuyos sistemas productivos se modelan utilizando un programa de simulación de eventos discretos. Los resultados obtenidos se analizan de manera cuantitativa y cualitativa, identificando diversas oportunidades de mejora. Estas oportunidades se traducen en propuestas de distribución en planta, cuyos sistemas también se modelan y simulan. Los resultados estadísticos obtenidos permiten generar un conjunto de indicadores de desempeño para analizar las alternativas respecto a variables de interés como: distancias recorridas, pesos transportados, aprovechamiento del espacio, utilización de equipos y volúmenes de producción. Como trabajo futuro, se propone abordar el proceso de evaluación y selección de la mejor distribución mediante un enfoque multicriterio, permitiendo elegir la opción que mejor se ajuste a las características y necesidades de la empresa y su cadena de suministro.

Palabras Claves: distribución en planta, simulación, sistema productivo, productos saludables.

ABSTRACT

This paper presents a case study of a company specialized in the development and manufacturing of health care products, such as nutritional supplements, herbal medicines, and fruit and herbal infusions. Despite sustained success in recent years, with expansion processes and improvements in its operations, an opportunity for improvement in the physical layout of its facilities has been identified. The aim of this study is to design, analyze, and select new facility layout proposals for the company using a system simulation approach and scenario analysis. Several product families are formed, whose production systems are modeled using a discrete event simulation program. The results obtained are analyzed quantitatively and qualitatively, identifying various opportunities for improvement. These opportunities translate into layout proposals, which are also modeled and simulated. The statistical results obtained allow for the generation of a set of performance indicators to analyze the alternatives with respect to variables of interest such as distances traveled, weights transported, space utilization, equipment utilization, and production volumes. As future work, it is proposed to address the evaluation and selection process of the best layout using a multi-criteria approach, allowing for the selection of the option that best suits the characteristics and needs of the company and its supply chain.

Keywords: facility layout, simulation, production system, healthy products.

1. INTRODUCCIÓN

La eficiente utilización de los recursos, la calidad ofrecida al cliente y la integración de funciones son objetivos esenciales para cualquier organización que aspire a mantenerse competitiva. La empresa en cuestión se especializa en el desarrollo y fabricación de productos para el cuidado de la salud, como suplementos nutricionales, medicamentos herbarios e infusiones de frutas y hierbas. Inició sus actividades hace cerca de 30 años y ha logrado expandir su comercio y estructura gracias a la continua aplicación de estos tres principios. En este sentido, la formación e incorporación de mano de obra calificada y la evolución tecnológica de su equipamiento han sido herramientas fundamentales para fortalecer la función de operaciones. Sin embargo, la empresa percibe una oportunidad de mejora en la distribución física de sus instalaciones, y es precisamente en este aspecto donde el presente trabajo busca agregar valor.

La complejidad de las operaciones en los sistemas productivos requiere de modelos que se ajusten a esta realidad y que permitan un análisis profundo y detallado. Como el número de factores a ser considerados en la toma de decisiones son elevados, se suele recurrir a herramientas de soporte que contribuyan a encontrar la mejor solución al problema abordado (Valqui Vidal, 2010). La magnitud y el contexto de un proyecto de mejora de instalaciones físicas requieren un análisis particularmente objetivo del sistema productivo y es aquí donde la simulación de sistemas adquiere un papel relevante como soporte al proceso de toma de decisiones (Mortara et al., 2021).

La simulación permite predecir el comportamiento de un sistema productivo mediante el registro de los procesos que se desarrollan y la interacción entre sus componentes. Es una técnica que estudia el comportamiento de un sistema real experimentando con un modelo que lo representa (Ijaz, 2024). El modelo está formado por expresiones matemáticas y relaciones lógicas entre los componentes fundamentales del sistema y permite calcular el valor de las salidas de interés dadas las entradas controlables del sistema. El objetivo del proceso es la ejecución del modelo a través del tiempo, para generar mediciones de determinados valores de eficiencia del sistema. Es especialmente útil cuando se trata de escenarios que no pueden ser resueltos aplicando métodos analíticos, debido a su complejidad o a la aparición de variables cualitativas y relaciones y funciones no expresadas analíticamente (Alberto & Carignano, 2023; Dunna et al., 2013). Como el número de factores a ser considerados en la toma de decisiones sobre procesos productivos son elevados, se suele recurrir a herramientas informáticas a fin de que contribuyan a encontrar la mejor solución. Utilizando un software de simulación es posible describir el comportamiento del sistema en forma dinámica y considerando además a los procesos en forma estocástica, lo que significa que se puede estudiar la ocurrencia de los acontecimientos en forma aleatoria (Izquierdo et al., 2008).

Es por ello que el objetivo del presente trabajo es diseñar y analizar propuestas de mejora para la distribución en planta de la empresa bajo estudio bajo un enfoque de simulación de sistemas y análisis de escenarios, permitiendo sistematizar y reducir los niveles de riesgo e incertidumbre en el proceso de toma de decisión.

2. METODOLOGÍA

La metodología propuesta se basa en un caso de estudio abordado mediante una investigación mixta, cualitativa y cuantitativa. Inicialmente se analizan datos en forma descriptiva y luego, mediante la aplicación de las herramientas propuestas, se realizan cálculos matemáticos para proponer alternativas de mejora a la distribución en planta de la empresa bajo estudio.

En una primera etapa, se realiza un relevamiento y análisis de la distribución en planta, los procesos productivos y los flujos de materiales presentes en la actualidad. La segunda etapa consiste en identificar y definir oportunidades de mejora para la distribución actual y determinar los factores técnicos y físicos que estas deben contemplar. Finalmente, se proponen alternativas de rediseño de la distribución, haciendo uso de herramientas de modelado y simulación de escenarios.

Con el objeto de considerar, tanto las necesidades operativas actuales como las futuras, se estableció un horizonte temporal de cinco años para su desarrollo. Dicho plazo se definió en base a dos restricciones principales. La primera es que el periodo sea lo suficientemente extenso como para tomar en consideración la potencial adquisición de un terreno lindero al actual en su desarrollo. La segunda, que sea lo suficientemente inmediato como para manejar una incertidumbre aceptable por la firma.

El intercambio de información con la empresa se llevó a cabo mediante entrevistas no estructuradas, tanto de forma presencial, como virtual. Los datos relevados fueron volcados en distintas plataformas

virtuales, que conformaron el entorno de trabajo del proyecto. Para el análisis de información relativa a variables operativas de interés, como participación en ventas por producto; tiempos de ciclo, frecuencias de expedición y pedidos; se utilizó Microsoft Excel. El relevamiento de flujos de operación se plasmó en una serie de diagramas de flujo desarrollados mediante Microsoft Visio. Para el modelado del sistema productivo, se procedió a representar la oferta de productos de la organización, en una serie subconjuntos acotados. Aquí, se buscó facilitar su representación, disminuir el costo computacional de la simulación, y minimizar la perdida de información. Para ello, se crearon familias de producto aplicando el principio de Pareto con respecto a la participación en los volúmenes de fabricación y flujos de proceso compartidos. Conformadas estas familias, se volcó, tanto la información operativa, como la secuencia lógica de procesos relevadas, al programa de simulación Flexsim®, en su versión estudiantil. Siendo esta la herramienta central de análisis cuantitativo de la distribución actual, y las propuestas elaboradas. Por consiguiente, se generó un conjunto de indicadores de desempeño para evaluar alternativas con respecto a variables de interés como: distancias recorridas; pesos transportados; aprovechamiento de espacio; utilización de equipos, entre otras.

2.1 Etapas del proceso de simulación

A continuación, se enumeran los pasos básicos para llevar a cabo un estudio de simulación, pudiendo suprimir o agregar otros según la problemática abordada (Dunna et al., 2013):

1. Definición del sistema bajo estudio: Requiere conocer que origina el estudio de simulación y establecer sus supuestos. Se definen las variables de decisión del modelo, sus elementos e interacciones, y el alcance del modelo.
2. Generación del modelo base: Se realiza sin demasiado detalle con el objetivo de traducir la información recabada en el paso anterior, incluidas las interrelaciones entre elementos.
3. Recolección y análisis de datos: Se recolectan los datos necesarios para establecer las distribuciones de probabilidad de las variables aleatorias necesarias para la simulación.
4. Generación del modelo preliminar: Se integra la información obtenida en el paso anterior, los supuestos del modelo, y los datos adicionales necesarios para lograr un modelo más cercado a la realidad. En caso de no contar con información estadística podrán utilizarse variables determinísticas, o sugerir distribuciones de probabilidad comúnmente asociadas al proceso que se desea incluir en el modelo.
5. Verificación del modelo: Se comprueba la programación del modelo, y que todos los parámetros funcionen correctamente.
6. Validación del modelo: Consta de realizar pruebas con entradas reales para observar el comportamiento y analizar los resultados del modelo. Esta etapa se puede validar con el comportamiento del sistema real, en caso que sea conocido, o con las expectativas de comportamiento basadas en la experiencia del encargado del modelado o alguna parte interesada.
7. Generación del modelo final: El modelo está listo para realizar la simulación. En caso de que se quieran analizar múltiples escenarios, este modelo será el modelo original.
8. Determinación de los escenarios para el análisis: Se modelan los escenarios a analizar. Una forma de facilitar este proceso es plantear un escenario pesimista, uno optimista y otro intermedio. Es fundamental considerar el costo computacional, para evaluar todos los escenarios.
9. Análisis de sensibilidad: Se realizan pruebas estadísticas que permitan comparar los escenarios con los mejores resultados finales, haciendo hincapié en los intervalos de confianza.
10. Documentación del modelo, sugerencias y conclusiones.

2.2 Precisión aceptada y numero de réplicas del modelo

El Intervalo de confianza (IC) es aquel intervalo que se espera incluya el valor de la variable de salida del modelo, el $(1-\alpha)$ porciento de las veces que se calcule a partir de estimadores no sesgados de dicho parámetro. El valor $(1-\alpha)$ recibe el nombre de nivel de confianza. Dada una variable de salida del modelo de simulación, si la misma esta normalmente distribuida, su IC es:

$$IC = \left[\bar{Y} - t_{\frac{\alpha}{2};R-1}\frac{S}{\sqrt{R}}\,,\bar{Y} + t_{\frac{\alpha}{2};R-1}\frac{S}{\sqrt{R}}\right] \quad (1)$$

Donde R será el número de réplicas que se corrieron de dicho modelo, $t_{\frac{\alpha}{2},R-1}$ es el valor crítico obtenido por tablas estadísticas, para una distribución t de Student, con $R-1$ grados de libertad, y un nivel de confianza de $(1-\alpha)$.

Dada la fórmula para obtener el IC de la variable de interés, es posible aumentar el número de réplicas de manera que sea lo suficientemente grande para obtener un IC menor a una precisión admisible $\pm\in$. Matemáticamente, si $\bar{Y}$ es el estimador de θ, se debe hallar el número de réplicas R que satisfaga (Carson & Nelson, 2014):

$$P(|\bar{Y}-\theta| \leq \in) \geq 1-\alpha \quad (2)$$

Para esto, se comienza corriendo $R_0 \geq 2$ replicas iniciales, siendo 10 el mínimo deseable. Esto nos permite obtener el estimador inicial de la desviación estándar poblaciones, S_0.

Se debe hallar un $R \geq R_0$, tal que (Carson & Nelson, 2014):

$$R \geq \left(\frac{z_{\frac{\alpha}{2}} S_0}{\in}\right)^2 \quad (3)$$

Luego de determinar R, deben simularse $R-R_0$ réplicas adicionales – o simular R réplicas nuevas -, y calcular el intervalo de confianza siguiendo la ecuación 1.

3. DESARROLLO

3.1 Descripción de la empresa

La organización bajo estudio fue fundada en el año 1994, dedicada a la elaboración de suplementos nutricionales e infusiones en saquitos. En sus casi tres décadas de actividad ha logrado competir en mercados B2C y B2B en base al desarrollo de dos prioridades competitivas: calidad superior; y variedad. Su cartera de productos está compuesta por aproximadamente 237 variedades, el 36% son suplementos y 64% corresponden a infusiones. Todas sus funciones se desarrollan en su sede central, situada en un predio de 5,800 m², dentro del Parque Industrial de Mar del Plata. Las instalaciones constan de 3,260 m² totales.

Analizando su estrategia de operaciones, ha reforzado sostenidamente sus prioridades competitivas aplicando Buenas Prácticas de Fabricación y Control, y certificando la elaboración de suplementos según las normas internacionales FSSC 22.000 sobre Seguridad e Inocuidad Alimentario. Esto le ha permitido, no solo la diferenciación local mencionada anteriormente, si no la expansión hacia mercados extranjeros. En la actualidad, exportan alrededor del 20% de su producción a destinos como Perú, Venezuela, Uruguay, y países de Europa. En lo que respecta a su estrategia de expansión de capacidad, se califica como intermedia, buscando afrontar aumentos de la demanda mediante la utilización de dobles turnos o la aplicación de ingeniería de procesos en estaciones limitantes mediante su equipo de mantenimiento.

La empresa está atravesando un proceso de crecimiento sostenido desde hace ya varias décadas, el mismo ha sufrido mermas y vaivenes producto de los ciclos económicos locales e internacionales, siendo el último periodo negativo el año 2020. Sin embargo, desde la organización sostienen que la tendencia creciente, sujeta a cuestiones coyunturales, seguirá manteniéndose.

Además, en base al comportamiento diferenciado en ventas históricas que vienen mostrando los suplementos con respecto a las infusiones, es que se proyectan dos tasas de crecimiento distintas. Por el lado de los suplementos, es la línea de productos más joven de la organización y han obtenido aceptación en mercados locales e internacionales. Con lo cual, se muestran con mayor potencial de expansión y se espera duplicar su producción durante los próximos cinco años. En cuanto a las infusiones, siendo una oferta tradicional y más madura, sus proyecciones para el horizonte estipulado estiman un aumento del 30% en su producción.

3.2 Descripción y análisis de los procesos

La estrategia de procesos adoptada se caracteriza, en primer lugar, por un grado de participación del cliente medio, traccionado en mayor medida por las especificaciones solicitadas por sus clientes industriales, que implican el aprovisionamiento de insumos personalizados. La organización también ha decidido operar bajo una estructura de procesos de lotes grande o chicos, según el producto en cuestión. En la transformación de estos lotes se observan procesos de una intensidad de capital media-

alta. La maquinaria tendrá el rol principal en el agregado de valor a lo largo de toda la cadena de suministros, teniendo esta mayor o menor grado de automatización según el producto elaborado. Sin embargo, la mano de obra está a cargo de gran parte de las actividades de carga, descarga y configuración de los equipos. A continuación, se describen los procesos que forman parte de dicha cadena. La Figura 1 presenta el diagrama de flujo para los cuatro subprocesos principales de las actividades productivas de la organización.

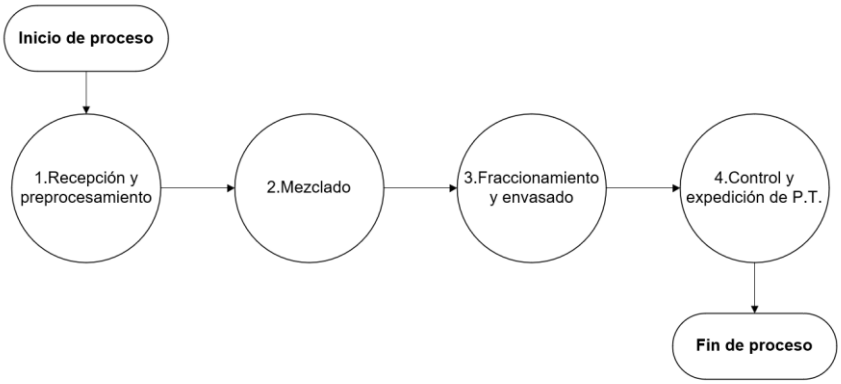


Figura 1: Diagrama de flujo para subprocesos principales. Fuente: Elaboración propia.

El subproceso de recepción y preprocesamiento consta de dos etapas. La primera, compuesta por las actividades de la recepción y descarga, control de cantidades y muestreo para el posterior control de calidad. La segunda, involucra dos actividades de preprocesamiento: la molienda, y la irradiación. Éstas aplican solo a materias primas herbarias, siendo los suplementos en polvo e insumos transportados de forma directa al almacén. Alrededor del 40% de los kilogramos ingresados atraviesan la etapa de molienda, y cerca de un 20% se envían para su irradiación.

El subproceso de mezclado cumple un rol fundamental en la cadena de valor, ya que elaborar la receta correspondiente a cada producto. El proceso comienza con la recolección de las materias primas necesarias, que surgen de las ordenes de producción emitidas, y las recetas anexas que cada elaboración posee. Luego, se procede a la etapa de dosificado, donde se incorporan las cantidades necesarias de cada materia prima en bines plásticos. El tamaño del lote viene dado por la capacidad de la tolva de mezclado. Se inicia el proceso de mezclado, para luego extraer una mezcla homogénea, el producto semielaborado obtenido se dispone en bines plásticos y se almacena en el depósito correspondiente.

El subproceso de fraccionamiento y envasado es el punto de divergencia principal para los flujos de operación, ya que se observan diferencias marcadas entre la producción de infusiones, y suplementos. Una característica fundamental de estos procesos es que el fraccionado es de carácter volumétrico. Esto implica que el desperdicio en los procesos tenga dos componentes. La primera surge de unidades producidas que no cumplen con estándares mínimos, y se descartan. La segunda es producto de la precisión del fraccionado, la cual varia en relación con la densidad de la mezcla procesada. Si bien se conserva la estructura de procesos por lotes, la organización de algunas estaciones según el tipo de producto evidencia cierta linealidad en las operaciones.

El ultimo subproceso, control y expedición de producto terminado, consta de una serie de etapas iguales para todo tipo de producto. Los lotes de producto terminado provenientes del proceso anterior se trasladan al depósito correspondiente. Allí, entran en un estado de cuarentena, en tanto y en cuanto se realice el muestreo y control de calidad pertinente. De forma similar que las tareas de recepción, el producto terminado se almacena según se trate de una variedad medicinal, o no. Una vez depositados, quedan a la espera de la ejecución de una orden de compra, que inicia el proceso de armado del pedido y expedición.

Para cada subproceso se realiza un análisis detallado de las actividades que lo componen que sirve como información de entrada para modelar el sistema productivo. A modo de ejemplo, se presenta en la Figura 2 el diagrama de flujo del subproceso de fraccionamiento y envasado con la secuencia de operaciones que siguen las infusiones y los suplementos nutricionales.

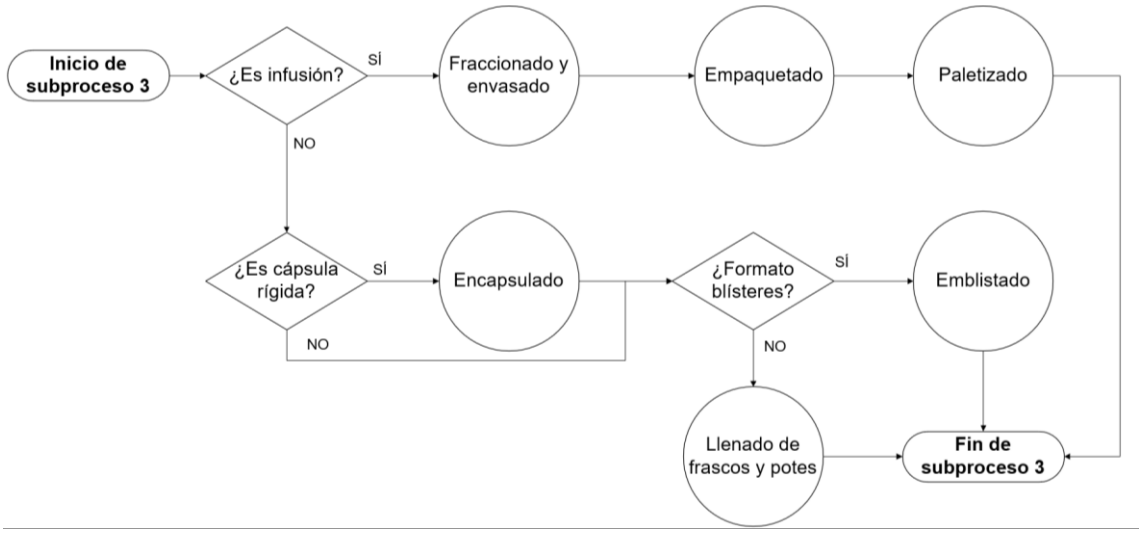


Figura 2: Diagramas de flujo fraccionamiento y envasado. Fuente: Elaboración propia.

3.3 Familia de productos

En función del análisis de Pareto se agrupan las 86 variedades de infusionesen tres familias de productos: medicinales (11%), monohierba (9%) y multihierba (80%). El primero de ellos abarca la totalidad de productos medicinales, cuya consideración particular, a pesar de contar con una participación acotada en ventas (10,8%), se basa en las implicancias en materia de almacenamiento y flujos aislados de elaboración, que devienen del marco regulatorio existente. El segundo, incluye los ocho productos monohierba, los cuales tienen presencia en ventas mayor al 21,6%. Además, muestran marcada diferencia en su flujo de elaboración, ya que no requieren atravesar la etapa de mezclado, ni el uso de equipos de envasado primario. La tercera familia posee participación mayoritaria en ventas (67,6%) y cantidad de productos. Su proceso es relativamente homogéneo en términos de secuencia de operaciones.

Con respecto a los 151 tipos de suplementos nutricionales, se conformaron tres familias de producto: potes (10%), frascos (36%), y blísteres (54%). Esta configuración se basa en las diferencias existentes en las etapas de elaboración de cada producto, y el grado de homogeneidad que tiene cada grupo con respecto a las variedades de insumos y formatos, cuando se considera su participación en ventas. Por un lado, los productos en potes atraviesan una secuencia de etapas idéntica, y más del 95% de sus ventas se explican por productos de igual formato y tipo de insumos. Sin embargo, se tiene en cuenta la divergencia existente en relación con la etapa de empaque a la hora de modelar su elaboración. Siguiendo con los blísteres, concentran casi el 90% de las ventas de cápsulas y el 10% restante de las cápsulas manufacturadas corresponderá al formato en frascos, el cual se opta por diferenciar en una familia independiente fundamentalmente por su secuencia de fabricación, e insumos exclusivos.

3.4 Indicadores de desempeño del modelo

En el diseño del modelo contempla una serie de indicadores cuantitativos relacionados con el desempeño general de la distribución en planta. Los mismos se listan a continuación, y se utilizan también para la evaluación y selección de alternativas propuestas:

- Tasa de planta: Se obtiene del conteo semanal de lotes ingresados efectivamente al depósito de producto terminado y se calcula el promedio de ingresos por familia a lo largo de cada réplica.

$$R_i = \frac{30\,\frac{dias}{mes} \times \frac{5\ dias\ laborales}{7\ dias} \times 8\,\frac{horas}{dia\ laboral}}{Lotes\ semanales\ de\ la\ familia\ i \times \frac{30\ dias\ mes}{7\ dias\ semana}} \left(\frac{horas}{lotes\ familia\ i}\right) \quad (4)$$

- Utilización de las estaciones: obtenida en base a la proporción del periodo simulado en el cual la estación se encuentra realizando alguna de las siguientes tareas: procesamiento; carga; descarga; configuración o limpieza; y espera a operario.

$$Utilización_i = \frac{Tiempo\ total_i - tiempo\ \text{sin}\ ejecutar\ tareas_i}{Tiempo\ total_i} \quad (5)$$

- Distancia de lote: Es la distancia total promedio recorrida durante la producción de un lote, por familia de producto, desde el proceso de mezclado hasta la llegada al depósito de producto terminado.

$$Dlote_i = \frac{Distancia\ total\ recorrida\ para\ fabricar\ la\ familia\ i}{Cantidad\ de\ lotes\ de\ la\ familia\ i\ fabricados}\ [\frac{m}{lote}] \quad (6)$$

- Peso por distancia unitario: Representa el trabajo promedio requerido para la elaboración de la unidad mínima de producto final de cada familia. De esta forma, el indicador de referencia en cada réplica surge del peso por distancia unitario promedio, para k-lotes producidos.

$$PxD_i^k = \frac{\sum_j^n Distancia\ tramo_{j-i}\ \times Peso\ total\ transportado_{j-i}}{Cantidad\ neta\ de\ paquetes\ de\ producto\ i\ en\ el\ lote\ k} \quad (7)$$

- Cantidad de retrocesos: Se toma como referencia el flujo de la materia prima al ingresar a la planta, hasta la expedición del lote de producto terminado. Se determina, mediante la observación del modelo tridimensional y el plano de planta, la cantidad de giros en U que este realiza a lo largo de todo el flujo, excluyendo los traslados en pasillos internos ubicaciones del depósito, pero considerando el recorrido interno del mismo dentro de cada estación de proceso.
- Densidad de almacenamiento: Surge del cociente entre la superficie total de la distribución, y el número de ubicaciones estándar totales que posee. No considera las ubicaciones de depósito que utilizan superficie libre de la planta.
- Colchón de capacidad relativo: Este indicador plasma el colchón de capacidad que posee una familia de productos determinada, relativo a su nivel de producción. El nivel de producción relaciona la demanda actual, con la demanda proyectada al final de horizonte temporal del proyecto, y su objetivo es comparar el colchón de capacidad de escenarios con distinto nivel de producción.

$$C_i^k = \left(Umax_i^k - 100\%\right) \times \frac{Nivel\ de\ producción_i^k}{Nivel\ de\ producción\ máximo_i} \quad (8)$$

$$donde: i: Familia\ de\ producto;\ k: Distribución\ en\ planta\ analizada;$$
$$Umax: Utilización\ de\ la\ estación\ cuello\ de\ botella\ de\ la\ familia\ i, para\ la\ distribución\ k.$$

3.5 Modelado y simulación del sistema

El sistema modelado abarca la totalidad de los procesos descriptos en el apartado 3.2, con excepción del proceso de armado de pedidos y expedición. Debido a esto, es que la tasa de planta del sistema productivo, variable utilizada en la validación de cada modelo, se considera tomando el ingreso al depósito de producto terminado, y no su expedición final. Se utilizan en los modelos variables, tanto determinísticas, como estocásticas, utilizando para estas últimas, valores promedio provistos por la organización y distribuciones de probabilidad comúnmente asociadas a la ocurrencia de los distintos sucesos.

El diseño del modelo se montó sobre un calendario de trabajo real, de 24 horas diarias y siete días semanales. Cada jornada laboral será de 9 horas corridas para toda la mano de obra directa, considerando una hora completa para refrigerios. A los efectos del análisis realizado, se configuro el periodo de 6:00 a 15:00 horas, con un descanso único de 12:00 a 13:00 horas, como jornada laboral matutina; y de 15:00 a 00:00 horas, con descanso entre las 21:00 y las 22:00 horas, como jornada vespertina. Por último, para la simulación de configuraciones en línea, debido a que la entidad de transferencia entre equipos es el lote completo, el tiempo de ciclo asignado es el necesario para procesar un lote completo. La totalidad de equipos se incluyen en la lógica del modelo y se representan de forma tridimensional.

Con el objeto de representar la cantidad y variedad de materias primas e insumos manejados, y ante la necesidad de minimizar el costo computacional – proporcional al número de entidades existentes en simultaneo-, se opta por modelar las cantidades, pesos y/o volúmenes inventariados mediante la variación de atributos de un conjunto relativamente pequeño de entidades. En el caso de materias primas, se tendrá un atributo que representa el número de lotes de producción que cada entidad es capaz de abastecer. Esto, considerando que, según la familia de productos a la que corresponda, podrá necesitarse de una o más materias primas distintas para fabricar un lote.

Dado que el modelo comienza con la totalidad de almacenes de materia prima e insumos vacíos, se definen criterios para la fijación de un tiempo de precalentamiento, que una vez finalizado habilita la emisión de ordenes de producción, cuyo proceso consecuente es el de mezclado. Los criterios establecidos son dos, y se describen a continuación. El primero consta en alcanzar un stock de materias primas destinadas a la elaboración de infusiones medicinales equivalente a, por lo menos, 3 meses de producción. El segundo implica lograr que, al menos, la mitad del volumen total destinado al acopio de materias primas este completo. Apunta a generar inventario suficiente del resto de recursos necesarios para elaborar otras familias de producto.

La validación estadística del periodo de precalentamiento se lleva a cabo mediante la simulación de 30 réplicas de longitud constante igual a 3,33 horas en donde no se genera ninguna orden de producción. En cada una, se toma un registro semanal del stock total de materias primas medicinales, y del volumen utilizado para el almacenaje de materias primas. Se establecen los respectivos intervalos de confianza para cada semana, con una confiabilidad del 95%, y una cota de error equivalente a media desviación estándar. En el caso del modelado del sistema actual, los valores mínimos a alcanzar son 31.2 lotes y 10.100 unidades de almacenamiento. De esta manera el periodo de precalentamiento se fija en 98 días, comenzando al día siguiente la emisión de ordenes de producción. La misma metodología es utilizada para las dos alternativas simuladas, obteniendo igual periodo de precalentamiento.

Luego de establecido el tiempo de precalentamiento, se validan los modelos mediante la estimación de la tasa de planta objetivo – actual, o proyectada, según corresponda -. La misma se calcula en base a la demanda relevada de cada familia de producto, y se mide en cantidad de lotes producidos mensualmente. Así, el valor objetivo se compara con la obtenida en los modelos construidos. Para ello, se establece como criterio de finalización para cada réplica el alcance del volumen de producción equivalente a cuatro meses, para cada familia de producto. Dicho volumen se contabiliza en cantidad de paquetes de producto terminado, y sus valores estimados se vuelcan en la Tabla 1.

Tabla 1: Producción objetivo por familia de producto para la finalización de cada réplica.

Familia de producto	Producción objetivo actual [paquetes]	Producción objetivo proyectada [paquetes]
Medicinales	20,400	26,200
Monohierba	40,000	52,400
Multihierba	126,400	164,000
Potes	15,600	31,160
Frascos	9,600	19,120
Blísteres	80,000	160,000

Por otro lado, cabe destacar que, debido a la naturaleza volumétrica de las etapas de fraccionado, se contempla un intervalo de variación para la tasa de planta de referencia. En él, existe un valor mínimo y máximo para la tasa de cada familia de producto, que representa la cantidad equivalente de unidades finales que pueden obtenerse de un lote de producto. Estos intervalos de referencia para las tasas de planta de cada familia de producto, y en cada escenario, se plasman en la Tabla 2.

Tabla 2: Intervalos para las tasas de planta de cada familia de producto.

Familia de producto	Intervalo de tasa de planta - objetivo actual [h/lote]	Intervalo de tasa de planta - objetivo proyectado [h/lote]
Medicinales	[16.47; 16.92]	[25.32; 26.03]
Monohierba	[11.35; 11.91]	[17.45; 18.32]
Multihierba	[2.63; 2.70]	[4.04; 4.15]
Potes	[3.71; 3.85]	[3.71; 3.85]
Frascos	[37.11; 41.91]	[37.07; 41.86]
Blísteres	[4.43; 5.00]	[4.43; 5.00]

3.6 Simulación de la distribución en planta actual

La simulación de la situación actual inicia con la ejecución de 10 réplicas. Se toma un error admisible equivalente al cinco por ciento del número de lotes requeridos para cumplir con la tasa de referencia, y se utilizan los resultados obtenidos para calcular el total de réplicas necesario. De esta forma, con una confiabilidad del 95%, se alcanza el error propuesto mediante la simulación de 35 réplicas. Los resultados de la validación se plasman en la Tabla 3.

Tabla 3: Resultados validación de la simulación de la distribución en planta actual.

Familia	Producción media [lotes/ semana]	Error admisible [lotes/ semana]	Intervalo de confianza [h/lote]	R medio [h/lote]	Intervalo objetivo
Medicinales	2.33	0.120	0.816	17.15	[16.47; 16.92]
Monohierba	3.50	0.172	0.398	11.43	[11.35; 11.91]
Multihierba	14.85	0.751	0.050	2.69	[2.63; 2.70]
Potes	10.40	0.529	0.170	3.85	[3.71; 3.85]
Frascos	1.02	0.051	3.204	39.15	[37.11; 41.91]
Blísteres	7.90	0.424	0.077	5.06	[4.43; 5.00]

Dado que, para cada una de las familias de producto, la unión de los intervalos simulados y de referencia forman un conjunto no vacío, el modelo se considera validado estadísticamente y se procede a la detección de oportunidades de mejora.

En la Figura 3 se plasma el modelo tridimensional resultante para la distribución actual en Flexim®, que permite representar las estaciones productivas y los flujos de producción existentes.

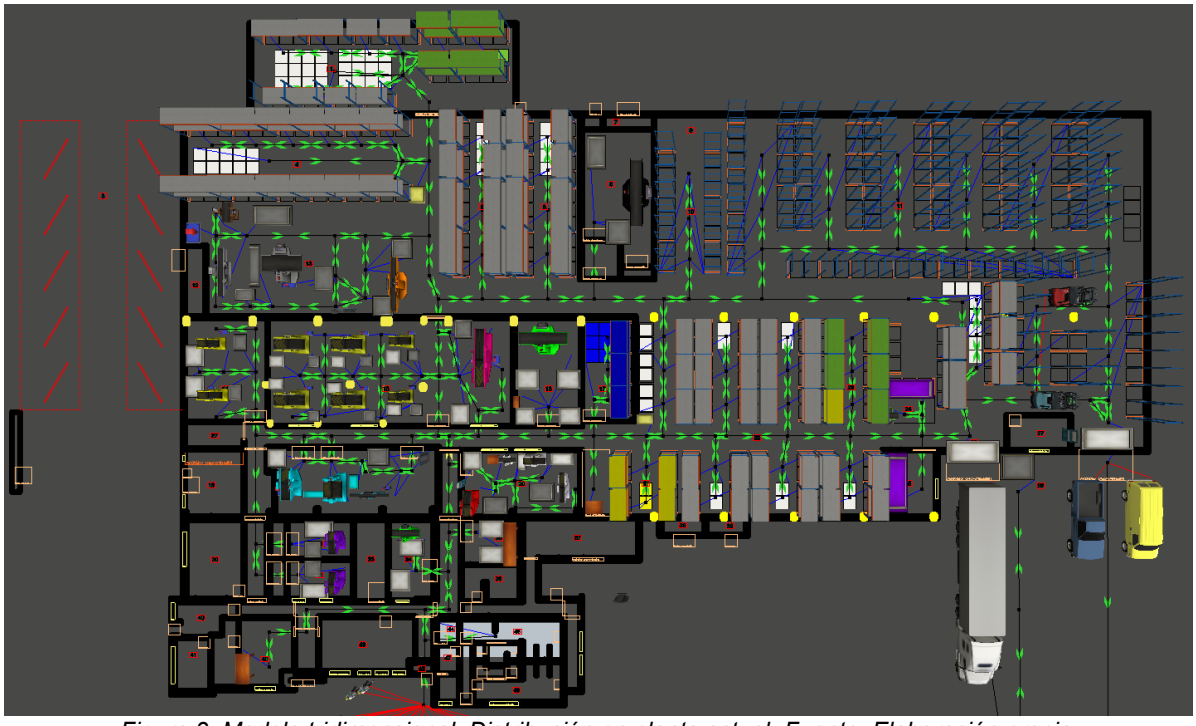


Figura 3: Modelo tridimensional. Distribución en planta actual. Fuente: Elaboración propia.

A los efectos de la comparación con futuras propuestas, en la Tabla 4 se presentan los restantes resultados de los indicadores la distribución actual.

Tabla 4: Resultados de los indicadores de la distribución actual.

Indicadores	Medicinales	Monohierba	Multihierba	Potes	Frascos	Blísteres
Tasa de planta [h/lote]	17.15	11.43	2.69	3.85	39.15	5.06
Utilización prom. de las estaciones [%]	58.85					
Distancia de lote [m/lote]	584.40	270.80	499.50	342.50	456.70	468.30
Peso por Distancia Unitario	139.20	86.50	132.60	463.30	97.40	59.70
Cantidad de Retrocesos	12	8	12	8	11	11
Densidad de Almac. [m^2/N° ub.]	2,96					
Colchón de capacidad relativo [%]	20.35	5.90	20.35	23.00	1.30	1.30

3.7 Análisis y oportunidades de mejora

A continuación, se describen las principales problemáticas observadas luego del análisis estadístico y visual del sistema modelado.

En términos del flujo de la planta, y dado que existe un sector de ingreso y egreso conjunto, se observan dificultades para alcanzar una circulación en forma de U del material a lo largo de su fabricación. En consecuencia, se generan retrocesos en múltiples etapas de la elaboración, siendo las más significativas en las etapas de mezclado, encapsulado, recolección de materia prima e insumos y fraccionado de infusiones. Una deficiencia detectada en la distribución actual es la dificultad de asignar ubicaciones de estantería según la familia de productos. En el caso de las materias primas este arreglo presenta la dificultad de que suele utilizarse, para productos de varias familias, la misma materia prima. Sin embargo, esto es mucho menos frecuente en los insumos de uso general y los utilizado para el embalaje. Los insumos restantes son asignables a una familia especifica, con lo cual podrían asignarse estanterías específicas que integren su localización con el flujo de fabricación, y aprovechen la flexibilidad dimensional aportada por el diseño de las estanterías.

En lo que respecta a la brecha de capacidad instalada y de cara al aumento proyectado se identifican, cinco estaciones productivas cuya capacidad máxima se vería sobrepasada. Para el diseño de las propuestas, se proyecta la adquisición de maquinarias en función de dos factores: obtener un colchón de capacidad mínimo del 20%, y considerar la estrategia intermedia en términos de expansión de capacidad vía adquisición de maquinaria, que adopta la empresa históricamente. Se proyecta la construcción de una nueva sala de encapsulado, que implica adquirir una maquina encapsuladora y una detectora de metales adicional. Se plantea la creación de una línea de fraccionado y envasado de frascos independiente que requiere la adquisición de un nuevo equipo de etiquetado y otro de sellado.

En lo que respecta a sectores auxiliares, y de cara a las proyecciones de crecimiento estimadas, se detecta como oportunidad de mejora la ampliación de los sectores destinados a oficinas de mandos medios de la planta baja. Allí, actualmente convive, en una superficie de 21 m²: personal de mantenimiento, aseguramiento de calidad, y jefatura de producción. Algo similar ocurre con el sector designado para acopio de herramientas e insumos de mantenimiento, que cuenta únicamente con 15 m² de superficie, es único en toda la planta, y por normativas debe estar excluido de sectores productivos.

4. RESULTADOS

4.1 Propuestas de mejora

En función de las oportunidades de mejora detectadas se proponen dos alternativas de distribución en planta que se describen a continuación:

- Propuesta 1: Esta alternativa busca mitigar las deficiencias detectadas mediante un arreglo lineal, siguiendo las secuencias de procesado del material, del mayor número de estaciones posibles. Una de las consecuencias de este diseño es la necesidad de dividir los sectores de recepción y expedición. Para ello, se hace uso de la entrada secundaria a planta que implica son una expansión del actual deposito y un aumento de 1.3 metros en la altura útil del sector. Por otro lado, se hace uso del terreno lindero, recientemente adjudicado, para expandir la nave, tanto en sentido longitudinal, como horizontal. De esta forma, en el extremo sur de la misma se sitúa el sector de recepción y el depósito de materias primas; seguido de la estación de molienda, y ambas estaciones de mezclado. Aquí, se presta especial atención a la cercanía entre el depósito de materias primas medicinales y la recepción, ya que la expedición de estas hacia el proceso de irradiación se realizará por allí. Adicionalmente, se procura situar la estación de molienda lindera al exterior para facilitar la instalación de equipos de extracción en la misma, y se mantiene en su diseño la disposición de un gabinete de máquinas independiente. Con respecto a las estaciones de mezclado, se aloja la de mayor capacidad de carga más cercana, tanto a los almacenes de materia prima, como de producto en proceso, para minimizar el recorrido en lotes de producción más voluminosos. La distribución continua hacia el norte, donde se ubican los depósitos de producto en proceso e insumos. A partir de allí, la distribución se divide en tres grandes alas. El ala oeste se aloja la mayoría de las ubicaciones destinadas al acopio de insumos, seguido de tres estaciones de encapsulado, y finalizando con la línea de producción de blísteres, que conserva su ubicación actual. Luego, el ala central posiciona la línea de elaboración de potes y la estación de fraccionado de infusiones Monohierba. Ambos sectores tienen la característica de concentrar gran cantidad de eslabones de la cadena de suministro. Seguido a estas, se dispondrán ubicaciones para el acopio de insumos particulares de la familia de blísteres, e insumos generales, como cajas para infusiones, y plásticos termo contraíbles para embalaje. En su segunda mitad, se dispone la sala de almacenamiento de capsulas rígidas, y un depósito de producto en proceso destinado exclusivamente a las familias de blísteres y frascos. Por último, se crea una nueva sala de producción para albergar la línea de producción de suplementos en frascos, seguida de una circulación; y finalizando con la disposición de las seis estaciones de fraccionado de infusiones. Por último, en el ala este, se despliega la totalidad del depósito de productos terminados, en los cuales se contemplan dos circulaciones en sentido longitudinal, que buscan independizar los traslados de lotes desde cada estación hacia el depósito; de los realizados en procesos de armado de pedidos y expedición.

Propuesta 2: Esta alternativa apuesta a mejorar la integración de los flujos de producción manteniendo la circulación en forma de U de la distribución actual. Por un lado, los sectores de recepción y expedición permanecen unificados, y en cercanía de los depósitos. Con respecto a las áreas productivas, y de manera similar que la propuesta anterior, se reorganizan buscando que la circulación del material acompañe la secuencia lógica de la cadena de suministro. Al igual que la propuesta anterior, se hace uso del terreno lindero para la expansión de las instalaciones en ambos sentidos. Los sectores de recepción y expedición se ubican juntos en el extremo sur de la planta, y las estaciones de proceso y

depósitos van surgiendo en la medida que se recorre la distribución hacia el norte. Las estaciones de molienda y mezclado se ubican cercanas a los depósitos de materias primas y productos semielaborados. Seguido a ellas comienza a desarrollarse en depósito de insumos, que cuenta con ala oeste de ubicaciones, destinadas al abastecimiento de las líneas de infusiones, frascos, y blísteres; y un ala este, más pequeña, donde se mantienen los insumos de uso general y los utilizados en la elaboración de potes. En el extremo norte de la circulación, se posicionan las principales estaciones productivas. Tanto la línea de elaboración de blísteres, como la fraccionadora conservan su ubicación actual. Por otro lado, las tres salas de encapsulado, los depósitos de capsulas se reorganizan de la misma forma que en la propuesta 1. Se dispone un pasillo adicional entre las fraccionadoras con el objeto de mejorar la circulación de material hacia el sector de envasado y el depósito de producto terminado. También, se configuran, a continuación del depósito de insumos, dos salas de producción que albergan las líneas de producción de potes y frascos. El ingreso al depósito de producto terminado de todas las familias se realiza por una circulación única que recorre longitudinalmente toda la planta, de norte a sur, y finaliza con el sector de paletizado. Las distintas estanterías del depósito se disponen en forma perpendicular a este a lo largo de diez pasillos. Por último, existe una circulación inferior adicional, de menor extensión, que conecta seis de estos pasillos con el sector de expedición.

4.2 Simulación de escenarios

Se plantean dos escenarios de simulación, cada uno correspondiente a las propuestas de distribución en planta detalladas en el apartado anterior.

Ambos modelos consideran una la jornada laboral con dos turnos de trabajo para la totalidad de la planta. Esta medida se relaciona con la estrategia de expansión conservadora que adopta la empresa, en donde la disponibilidad flexible de recursos humanos es el factor principal para aumentar potencialmente la tasa de producción, seguido de la adquisición de bienes de capital. Dado el aumento proyectado de la demanda para cada familia de producto, la proporción de lotes que se fabrican en cada estación se establece igual que la distribución actual.

De la misma manera que se procede para la distribución actual, se modelan y validan los escenarios de simulación de ambas propuestas y los resultados obtenidos se presentan en las Tablas 5 y 6.

Tabla 4: Resultados de los indicadores de la Propuesta 1.

Indicadores	Medicinales	Monohierba	Multihierba	Potes	Frascos	Blísteres
Tasa de planta [h/lote]	17.15	11.43	2.69	3.85	39.15	5.06
Utilización prom. de las estaciones [%]	49.25					
Distancia de lote [m/lote]	593.7	281.0	547.2	258.7	373.3	422.6
Peso por Distancia Unitario	147.5	77.5	147.5	283.9	61.5	41.7
Cantidad de Retrocesos	8	6	9	6	6	8
Densidad de Almac. [m^2/N° ub.]	2.40					
Colchón de capacidad relativo [%]	39.50	45.75	39.50	44.95	19.75	15.20

Tabla 4: Resultados de los indicadores de la Propuesta 2.

Indicadores	Medicinales	Monohierba	Multihierba	Potes	Frascos	Blísteres
Tasa de planta [h/lote]	25.26	17.16	4.11	3.74	35.89	4.71
Utilización prom. de las estaciones [%]	48.11					
Distancia de lote [m/lote]	857.0	429.1	760.0	405.0	490.6	503.8
Peso por Distancia Unitario	209.6	142.8	225.0	481.7	97.8	57.2
Cantidad de Retrocesos	5	4	5	5	4	5
Densidad de Almac. [m^2/N° ub.]	2.46					
Colchón de capacidad relativo [%]	39.20	44.65	39.20	48.25	21.20	16.80

Los resultados evidencian mejoras de entre 5% y el 183% en los principales indicadores de desempeño para la Propuesta 1 (Tabla 5). Entre los principales factores que contribuyen a estas mejoras se destaca fundamentalmente la disposición lineal de los flujos de material que se adoptó en la Propuesta N°1. Esta configuración hace uso de ambos extremos de las instalaciones y permite minimizar la distancia promedio recorrida por cada lote en un 5,56%, aun dada la expansión superficial de la planta. Adicionalmente, la división de la distribución en tres alas longitudinales optimiza la circulación entre los distintos depósitos y las salas de producción. Por un lado, el arreglo lineal propuesto para cada familia de productos contribuye a disminuir los retrocesos y lograr una circulación más eficiente, obteniendo una mejora promedio del 30,65% en su indicador asociado. En paralelo, la distribución de depósitos y salas de producción considera, tanto las distancias absolutas entre ellos, como el peso asociado a la elaboración de un lote de cada familia de producto. El resultado es un arreglo que prioriza acortar distancias para recorridos de productos más pesados, y así reducir en un 22,29% el esfuerzo empleado

en el manejo de materiales. Por otra parte, la propuesta aprovecha las dos circulaciones principales y respeta el arreglo lineal de la distribución a la hora de distribuir las estanterías de los depósitos. En consecuencia, se evidencia una mejora del 18,82% en el aprovechamiento volumétrico. Las mejoras resultantes en materia de capacidad se atribuyen principalmente a la implementación de un cronograma de producción de dos turnos, y la incorporación de una tercera estación de encapsulado, que traslada el cuello de botella hacia la línea de elaboración de blísteres y amplia el colchón de capacidad para la elaboración de suplementos en cápsulas. Como resultado se obtiene una mejora del 183,45% del colchón de capacidad, una disminución del 16,31% de la utilización de los equipos y un aumento de la tasa de planta del 14,58%.

Analizando los resultados de la Propuesta 2 (Tabla 5), se evidencian mejora en algunos de los principales indicadores con valores superiores a la Propuesta 1 y en otros, no ha logrado superar el desempeño de la distribución actual. Esta propuesta mantiene la disposición en U de los flujos de material, aumentando la distancia promedio recorrida por cada lote un 31,4% y el esfuerzo empleado en el manejo de materiales en un 24,05%, debido a la expansión superficial de la planta. Por otra parte, la propuesta ha logrado una mejora del 16,89% en el aprovechamiento volumétrico y una disminución sustancial los retrocesos, obteniendo una mejora promedio del 54,84% en su indicador asociado. Respecto a la capacidad, la propuesta obtiene una mejora del 183,45% del colchón de capacidad, una disminución del 18,25% de la utilización de los equipos y un aumento de la tasa de planta del 14,55%.

Tabla 5: Variación de los indicadores de las Propuesta respecto a la Distribución Actual.

Indicadores	Tasa de planta prom. [h/lote]	Utilización prom. de las estaciones [%]	Distancia de lote [m/lote]	Peso por Distancia Unitario porm.	Cantidad de Retrocesos	Densidad de Almac.prom. [m2/N° ub.]	Colchón de capacidad relativo prom. [%]
Propuesta 1	14,58%	-16,31%	-5,56%	-22,39%	-30,65%	-18,92%	183,45%
Propuesta 2	14,55%	-18,25%	31,40%	24,05%	-54,84%	-16,89%	189,89%

3. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se plantea el abordaje de las propuestas de rediseño de instalaciones de manufactura de una empresa de productos saludables, bajo un enfoque mixto que permite su evaluación cuantitativa y cualitativa, la detección de oportunidades de mejora y un análisis de alternativas para facilitar el proceso de toma de decisiones.

Con respecto a la etapa inicial de relevamiento y análisis de la distribución en planta actual, se destaca el proceso de estratificación y agrupamiento de información realizado. Allí, se utilizan conceptos fundamentales como la identificación de estructuras de proceso particulares, las distintas orientaciones de distribución en planta, y la identificación de pocos factores vitales mediante el principio de Pareto. Gracias a esto, se logra considerar en el estudio a 237 productos diferentes, sin incurrir en perdidas considerables de su información o costos computacionales elevados.

Esta primera etapa también constituye bases sólidas para las actividades de modelado y simulación que le siguieron. El diseño llevado a cabo en los mismos, y los indicadores extraídos brindan una visión global de las cadenas de suministro de cada familia de producto, y permitieron orientar las oportunidades de mejora planteadas hacia un mejor cumplimiento de los principios básicos que debe perseguir una distribución en planta.

Como último paso, se procede a realizar un análisis de los resultados de la simulación de las distribuciones propuestas. Cuando se evalúan sus desempeños con respecto a la distribución actual, se obtienen mejoras promedio a lo largo de la mayoría de los indicadores analizados. La contraparte de estos resultados es una cadena de suministro capaz de operar a tasas de producción entre mayores a las actuales; aprovechando aproximadamente entre un 16 y 18%% más su espacio cúbico y eliminando entre el 30 y 55% los retrocesos actuales. Por último, se destacan los aportes en materia de flexibilidad al sistema de operaciones, que surgen de las mejoras en los colchones de capacidad superiores al 180% y la disminución de entre 16 y18% la utilización de los equipos.

Para finalizar el proceso de decisión, se recomienda como trabajo futuro la implementación de un proceso de decisión multicriterio que permitirá evaluar de manera sistemática y consistente las alternativas propuestas y seleccionar la mejor en función de las prioridades de la organización y su cadena de suministro.

4. REFERENCIAS

Alberto, C., & Carignano, C. (2022). Apoyo cuantitativo a las decisiones. Editorial Económicas Facultad de Cs Económicas de la U.N.C.

Carson, B., & Nelson, N. (2014). Discrete-Event System Simulation. Harlow: Pearson

Dunna, E., Reyes, H., & Barrón, L. (2013). Simulación y análisis de sistemas con ProModel. 2da edición. México: Pearson.

Ijaz Yusuf, N. R. (2024). Simple to complex business models using system dynamics lens. Intellectualization of Logistics and Supply Chain Management, 24, 6-22.

Izquierdo, L., Galán, J., Santos, J., Del Olmo, R. (2008) Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de Sistemas EMPIRIA. Revista de Metodología de las Ciencias Sociales, 16, pp. 85-112.

Mortara, V.,Tabone, L., Zanfrillo, A., Morcela, A. (2021) Mejora del proceso de seguimiento de cobros y reclamos en una organización de salud mediante simulación dinámica. COINI 2020.

Valqui Vidal R. (2010) La investigación de operaciones: un campo multidisciplinario. Operational Research: En: Encuentro Científico Internacional. 1 ed. Lima (Perú): Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (CEPLA). Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2011-00021.

"UN ENFOQUE METAHEURÍSTICO PARA UN PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULOS CON MÉTRICA DE ATRACCIÓN VISUAL"

Fernan Rodríguez[1], Adrián Toncovich[1], Diego Rossit[1,2]

[1]Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur
[2]INMABB Universidad Nacional del Sur (UNS)-CONICET
feer.rr01@gmail.com, atoncovi@uns.edu.ar, diego.rossit@uns.edu.ar

RESUMEN

Los modelos de ruteo de vehículos son aplicados para resolver una gran cantidad de problemas logísticos y productivos de la industria. Por ende, tradicionalmente ha sido un problema de mucho interés para el desarrollo de herramientas de apoyo a la toma de decisiones. En general al resolver problemas de ruteo se persiguen objetivos relacionados con el costo o las distancias. Sin embargo, existe un desarrollo menor de modelos que optimicen objetivos no tradicionales como la compacidad de las rutas. En este trabajo se propone un primer algoritmo bi-objetivo para optimizar simultáneamente la minimización de los tiempos de viaje y la compacidad de las rutas. Dada la naturaleza computacionalmente compleja de los problemas de ruteo de vehículos, este algoritmo se basa en una herramienta metaheurística, particularmente el recocido simulado. En experimentos iniciales el algoritmo fue capaz de hallar un conjunto de soluciones eficientes que exploran la relación de compromiso entre ambos objetivos contrapuestos en tiempos razonables.

Palabras Claves: Problemas de ruteo de vehículos; Compacidad; Optimización bi-objetivo; Recocido Simulado

ABSTRACT

Vehicle routing models are applied to solve a large number of logistical and productive problems in the industry. Therefore, it has traditionally been a problem of great interest for the development of decision-making support tools. In general, when solving routing problems, objectives related to cost or distance are pursued. However, there is less development of models that optimize non-traditional objectives such as route compactness. In this work, a first bi-objective algorithm is proposed to simultaneously optimize the minimization of travel times and the compactness of the routes. Given the computationally complex nature of vehicle routing problems, this algorithm is based on a metaheuristic tool particularly simulated annealing. In initial experiments the algorithm was able to find a set of efficient solutions that explore the trade-off relationship between both opposing objectives in reasonable times.

Keywords: Vehicle routing problems; Compactness; Bi-objective optimization; Simulated Annealing.

1. INTRODUCCIÓN

En la gestión de la cadena de suministro, una parte importante del proceso de toma de decisiones involucra la planificación de la logística del transporte. En la literatura relacionada, este tipo de planificaciones se modela a través de lo que se conoce como un problema de ruteo de vehículos o Vehicle Routing Problem (VRP), un problema de optimización combinatoria que concierne al diseño de los recorridos óptimos de una flota de vehículos para servir a un conjunto de clientes (Toth y Vigo, 2014). Desde su primera aplicación en un problema de distribución de combustible en los EEUU (Dantzig y Ramser, 1959), los problemas de ruteo han sido adaptados y extendidos para su utilización en diversas aplicaciones (Toth y Vigo, 2014; Vidal et al., 2020). Muchas de estas aplicaciones se relacionan con la gestión de servicios urbanos entre los que podemos encontrar algunos vinculados a sistemas tradicionales, como lo pueden ser la recolección de residuos sólidos urbanos (Fermani et al., 2019; Nesmachnow et al., 2018; Rossit et al., 2021) y la determinación de los recorridos de líneas de ómnibus urbanas (Ellegood et al., 2020), como también otros vinculados con la utilización de tecnologías modernas en el contexto de las ciudades inteligentes, como puede ser la gestión del tráfico en tiempo real (Lakshmanaprabu et al., 2019) y el uso de vehículos eléctricos o bicicletas compartidas (Li et al., 2020; Shi et al., 2019). Al momento de modelar un problema VRP se pueden perseguir distintos objetivos y considerar distintas restricciones dependiendo del caso de aplicación (Arnold y Sörensen, 2019). Esto ha llevado a que exista una gran cantidad de variantes de este problema. Por ejemplo, pueden citarse el problema de ruteo con restricciones de capacidad o Capacitated VRP (CVRP), el problema con restricciones de distancias o Distance-Constrained VRP, el problema VRP con ventanas de tiempo (VRPTW), el VRP con Pickup y Delivery (PDP) y el VRP periódico (PVRP), entre otros. Estos problemas están basados, en general, en una demanda de los clientes conocida, sin embargo, también pueden incorporar demandas de naturaleza estocástica. También existen ciertos problemas dinámicos, donde la demanda de los clientes se va revelando una vez que el vehículo ha comenzado su recorrido, debiendo realizar rediseños de la ruta al vuelo. En general, los criterios convencionales o tradicionales que se intentan optimizar en los problemas de ruteo tratan sobre aspectos objetivos (y cuantitativos) como minimizar los costos de transporte, las distancias o los tiempos de viaje, el número de vehículos requeridos o las penalizaciones por violación de restricciones que se asumen como “débiles”, tales como las ventanas de tiempo. Otro objetivo que puede considerarse es la llamada “atracción visual” de las rutas. Esta característica, que inicialmente estaba relacionada, principalmente, con el grado de aceptación que tienen las soluciones producidas por los algoritmos VRP por parte del administrador o planificador de las rutas (Poot et al., 2002), ha demostrado también tener varias ventajas al momento de la implementación de las planificaciones de ruteo y en la disminución de costos operativos (Corberán et al., 2017; Hollis y Green, 2012). Por esta razón, es un objetivo que se incorpora frecuentemente en las aplicaciones prácticas del VRP. Si bien no resulta fácil elaborar una definición precisa de la atracción visual debido a su carácter relativamente subjetivo (Constantino et al., 2015), diversos autores relacionan este concepto subjetivo con algunas características que deben exhibir las rutas de un plan: en general las rutas visualmente atractivas son compactas -se sitúan en una región geográfica acotada y su envolvente convexa presenta una forma aproximadamente circular-, se encuentran separadas entre sí -evitando solapamientos entre distintas rutas- y no poseen entrecruzamientos en sus trazados -evitando cruces de trayectos dentro de una misma ruta- (Rossit et al., 2019). Este carácter multidimensional en su definición también se ha traducido en una gran cantidad de métricas que se han elaborado para medir la atracción visual en problemas de ruteo, existiendo en la actualidad una gran dispersión de indicadores. En un intento por comparar los diversos indicadores elaborados y encontrar qué grado de asociación existe entre ellos, en Rossit et al. (2019) se analizó el grado de correlación lineal entre las diversas métricas a través de su aplicación a conocidos benchmarks de la literatura.

Atendiendo a la escasez de trabajos que consideran objetivos relacionados a la atracción visual en problemas de ruteo de vehículos, este trabajo se propone desarrollar un algoritmo biobjetivo para optimizar tanto el tiempo de viaje como la compacidad de las rutas. Considerando que los problemas de ruteo de vehículos son conocidos problemas NP-hard, se utilizará un algoritmo metaheurístico como lo es el recocido simulado.

El presente trabajo se encuentra organizado de la siguiente manera. En la Sección 2 se describe el algoritmo de recocido simulado propuesto para resolver el problema. Los resultados y análisis preliminares se exponen en la Sección 3. Finalmente, en la Sección 4 se presentan las conclusiones del trabajo y las futuras líneas de investigación.

2. ALGORITMO BIOBJETIVO BASADO EN EL RECOCIDO SIMULADO

En teoría de complejidad computacional, el tipo de problemas combinatorios estudiados está clasificado como NP-hard (Toth y Vigo, 2014), es decir, resulta a lo sumo tan difícil como los problemas para los cuales no se han desarrollado aún algoritmos de resolución eficientes que se ejecutan en tiempo polinomial con respecto al tamaño del problema. En este tipo de problemas las herramientas metaheurísticas permiten obtener buenas soluciones en tiempos de cómputo razonables. El algoritmo de resolución que se propone se basa en una estrategia de recocido simulado (SA, Simulated Annealing en inglés) y fue adaptada de los trabajos (Fermani et al., 2019; Rossit et al., 2021). SA es un método basado en la búsqueda local que se desarrolló a partir de una analogía con el fenómeno físico de recocido (Rossit et al., 2021) para resolver problemas complejos de optimización. Los métodos de búsqueda local buscan la solución con un mejor valor del criterio elegido en el entorno de la solución actual, la aceptan como la solución actual y repiten este procedimiento hasta que no resulte posible mejorar la solución en el entorno explorado. Como resultado de la aplicación sistemática de este procedimiento se obtiene, en el caso general, un óptimo local para el problema. Para evitar quedar atrapado en un óptimo local, se debe incluir un mecanismo de diversificación con el fin de explorar adecuadamente el espacio de soluciones. En la metaheurística del recocido simulado, la estrategia de diversificación admite desplazamientos, con cierta probabilidad, hacia soluciones que empeoran el valor actual de la función objetivo. Para obtener una buena aproximación a la solución óptima del problema durante el proceso de búsqueda, resulta necesario reiniciar la búsqueda regularmente desde una de las soluciones aceptadas durante el proceso de búsqueda. A continuación, se describe el algoritmo basado en el recocido simulado al que se recurre para resolver el problema.

El algoritmo SA desarrollado incorpora los parámetros característicos del recocido simulado que seguidamente se detallan:

- T: Parámetro de control (temperatura), valor real positivo que varía de un valor inicial, T_0, mayor a otro final, T_f, menor durante la ejecución del algoritmo.
- N_{salt}: Número de iteraciones realizadas por el algoritmo para un cierto valor de T.
- α: Función en T, $\alpha = \alpha(T)$, que determina la variación de T. En general: $\alpha\,(T) = \alpha\,T$, en la práctica se adopta: $\alpha \in [0{,}8;\ 0{,}99]$.
- N_{fin}: Máximo número de iteraciones sin mejora.

El procedimiento implementado posee las características de un procedimiento de recocido simulado con archivo de soluciones de Pareto, PASA, Pareto Archived Simulated Annealing (Engrand y Mournay, 1998), que, a su vez, incluye elementos propios de un algoritmo de recocido simulado multiobjetivo, MOSA, MultiObjective Simulated Annealing (Ulugu, Teghem, Fortemps y Tuytttens, 1999).

El método PASA, propuesto por Engrand y Mournay (1998) recurre a una función de agregación de las funciones objetivo, junto con un sistema de archivo/registro de soluciones no dominadas. Asumiendo que las funciones objetivo que deben minimizarse, $f_p\,, p = 1, 2, \dots, P$, son todas positivas, el problema puede transformarse en un problema de minimización monobjetivo mediante la siguiente función de agregación: $G(S) = \sum_{p=1}^{P} ln(f_p(S))$. En consecuencia, la Ecuación (1) representa la variación relativa media de las funciones objetivo entre la solución actual y la solución candidata.

$$\Delta G = G(S_c) - G(S_a) = \sum_{p=1}^{P} ln\left(\frac{f_p(S_c)}{f_p(S_a)}\right) \qquad (1)$$

Si $\Delta G > 0$, S_c se deteriora el valor medio relativo del conjunto de funciones objetivo. Si $\Delta G < 0$, S_c se produce una mejora en el valor medio relativo del conjunto de funciones objetivo. En el primer caso la solución S_c se acepta con una probabilidad dada por $PA = e^{-\Delta G/T}$, donde el parámetro T funciona como un mecanismo de control que simula el papel de la temperatura en el proceso físico del recocido. El algoritmo mantiene un registro de soluciones no dominadas que se va actualizando conforme al siguiente esquema:

- Si S_c está dominada por al menos una de las soluciones del archivo, no se agrega al conjunto.
- Si S_c domina a una o más soluciones del archivo, S_c se agrega reemplazando a las soluciones dominadas por ella.
- Si S_c no domina, ni está dominada por las soluciones del archivo, S_c se agrega sin reemplazar soluciones.

La aplicación repetida del siguiente procedimiento permite generar un conjunto de soluciones potencialmente no dominadas para el problema.

i. Inicio

- Se aplica un procedimiento constructivo para generar una solución inicial, S_0.
- Se evalúa $f_p(S_0), \forall\, p$.
- Se incorpora S_0 al conjunto de soluciones eficientes: $CE = \{S_0\}, Ncont = t = 0, T = T_0$.

ii. Iteración t

- Se genera una solución candidata de forma aleatoria en el entorno de S_a, $S_c \in V(S_a)$.
- Se evalúa $f_p(S_c), \forall\, p$.
- Se calcula ΔG aplicando la Ecuación (1).
- Si $\Delta G \leq 0$, se acepta la nueva solución: $S_a \leftarrow S_c$, $N_{cont} = 0$.
- En otro caso, se acepta S_c con una probabilidad $PA = e^{-\Delta G/T}$. Se genera un número aleatorio uniformemente distribuido en el intervalo [0;1]:

$$S_a \begin{cases} \leftarrow S_c, N_{cont} = 0. si\ \varepsilon \leq PA, \\ \leftarrow S_a, N_{cont} = N_{cont} + 1, si\ \varepsilon > PA. \end{cases}$$

- Si corresponde, se actualiza CE teniendo en cuenta a S_c aplicando el esquema de dominancia previamente descripto.
- $t \leftarrow t + 1$: Si t es múltiplo de N_{salt}, $T = \alpha\, T$, en caso contrario se mantiene el valor de T. Si $N_{cont} = N_{fin}$ o $T < T_f$, se detiene la ejecución, en caso contrario se continúa iterando.
- Se reporta el conjunto de soluciones eficientes CE encontrado durante el proceso de búsqueda.

Los objetivos que se persiguen son los siguientes:

$$\sum_{h\ en\ rutas} \quad \sum_{i,j\ en\ ruta\ h, i \neq j} \quad t_{ij}\ x_{ij}^h \tag{2}$$

$$\sum_{h\ en\ rutas} \quad \sum_{i,j\ en\ ruta\ h, i \neq j} \quad dist_{ij}\ y_i^h\ y_j^h \tag{3}$$

donde la Ecuación (2) representa la suma de los tiempos de viaje (t_{ij}) de los arcos que se recorren (x_{ij}^h). La Ecuación (3) es la sumatoria de distancias ($dist_{ij}$) entre todos los nodos que conforman la ruta (y_i^h). En Rossit y Toncovich (2023) puede consultarse la formulación de programación matemática detallada correspondiente al problema abordado.

La implementación fue desarrollada en Visual Basic e integrada con MS Excel lo cual permite una mayor accesibilidad para el usuario no experto con la idea que pueda ser implementado por profesionales del área, como puede visualizarse en las Figuras 1 (botones de control y ejecución del SA) y 2 (ingreso de parámetros del SA).

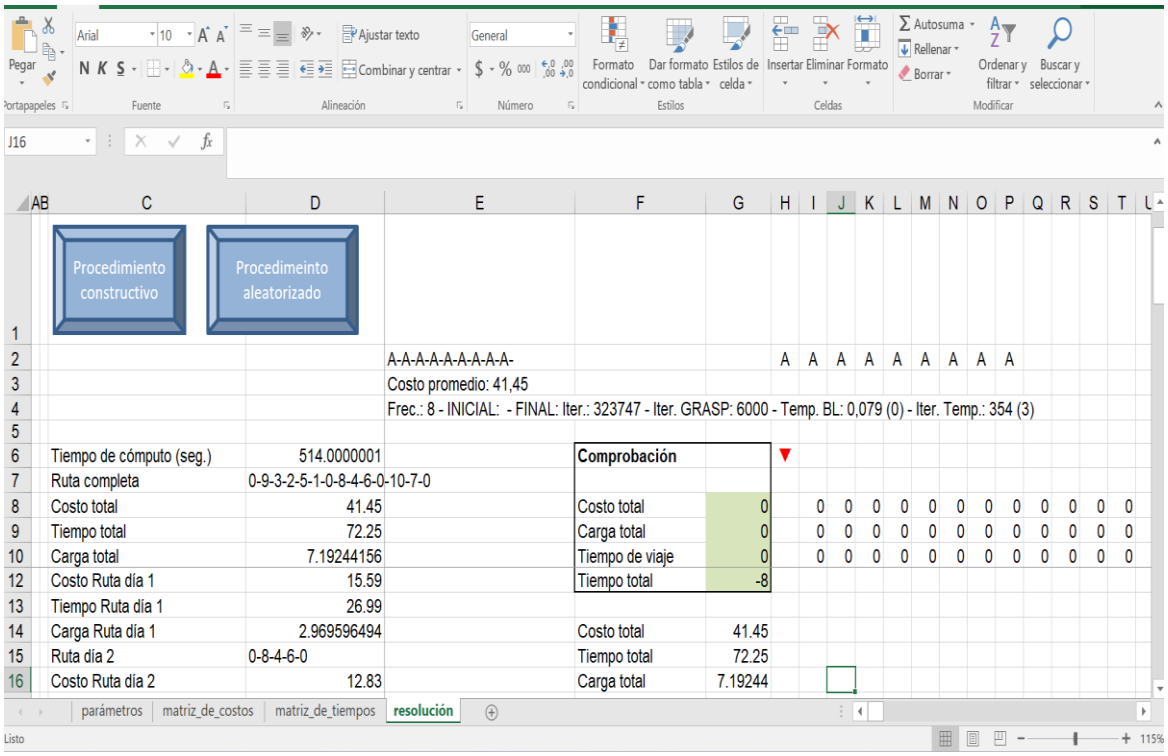


Figura 1 Botones de control y ejecución del algoritmo.

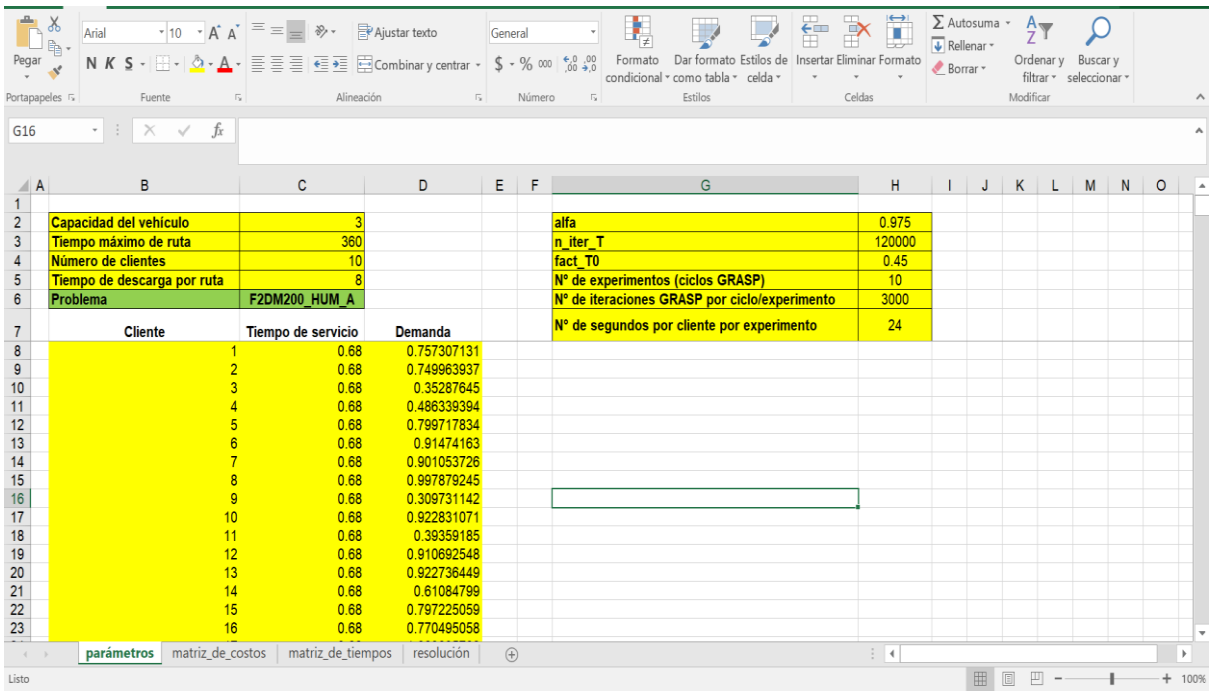


Figura 2 Ingreso de parámetros relacionados con el recocido simulado y el problema.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS PRELIMINARES

En este trabajo se presentan los resultados preliminares de la resolución de instancias basadas en el problema de la recolección de residuos sólidos urbanos con información de la ciudad de Bahía Blanca, a los efectos de explorar el desempeño del algoritmo y su capacidad de evaluar la relación de compromiso entre los objetivos. En las Figuras 3, 4 y 5 se presentan los frentes de Pareto representativos para instancias de 9, 10 y 20 nodos, respectivamente.

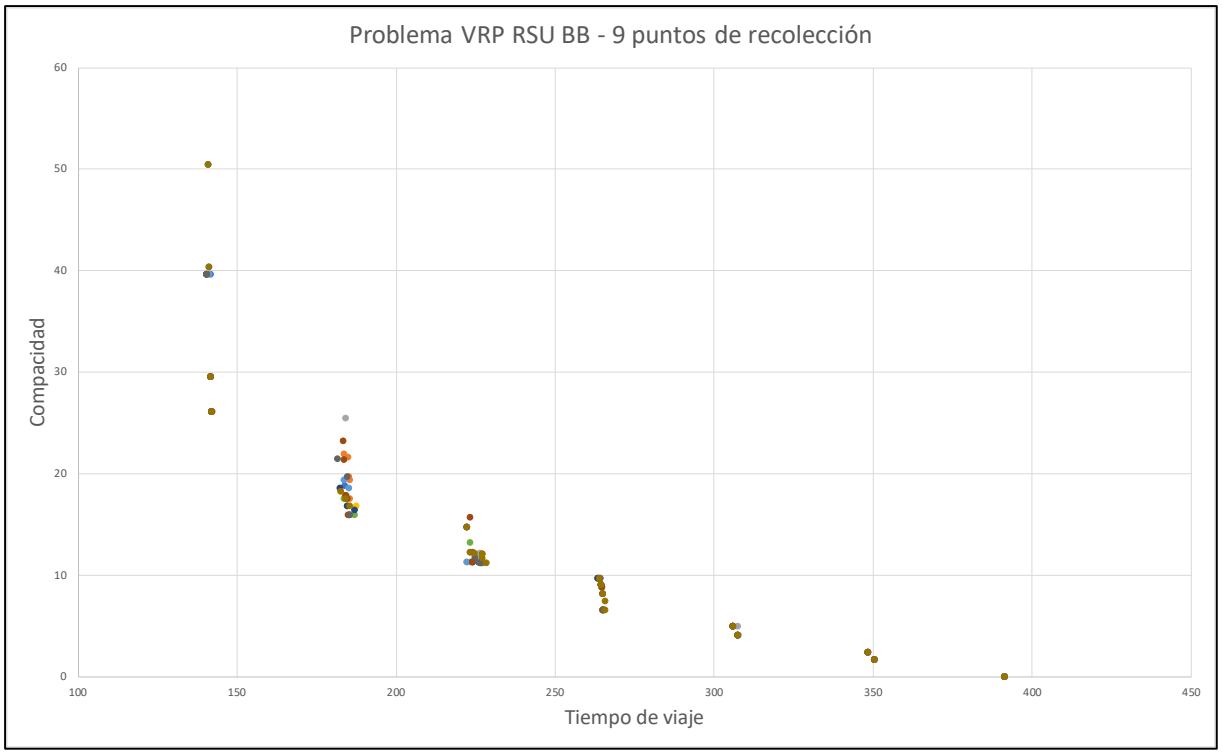


Figura 3 Frentes de Pareto para 9 nodos.

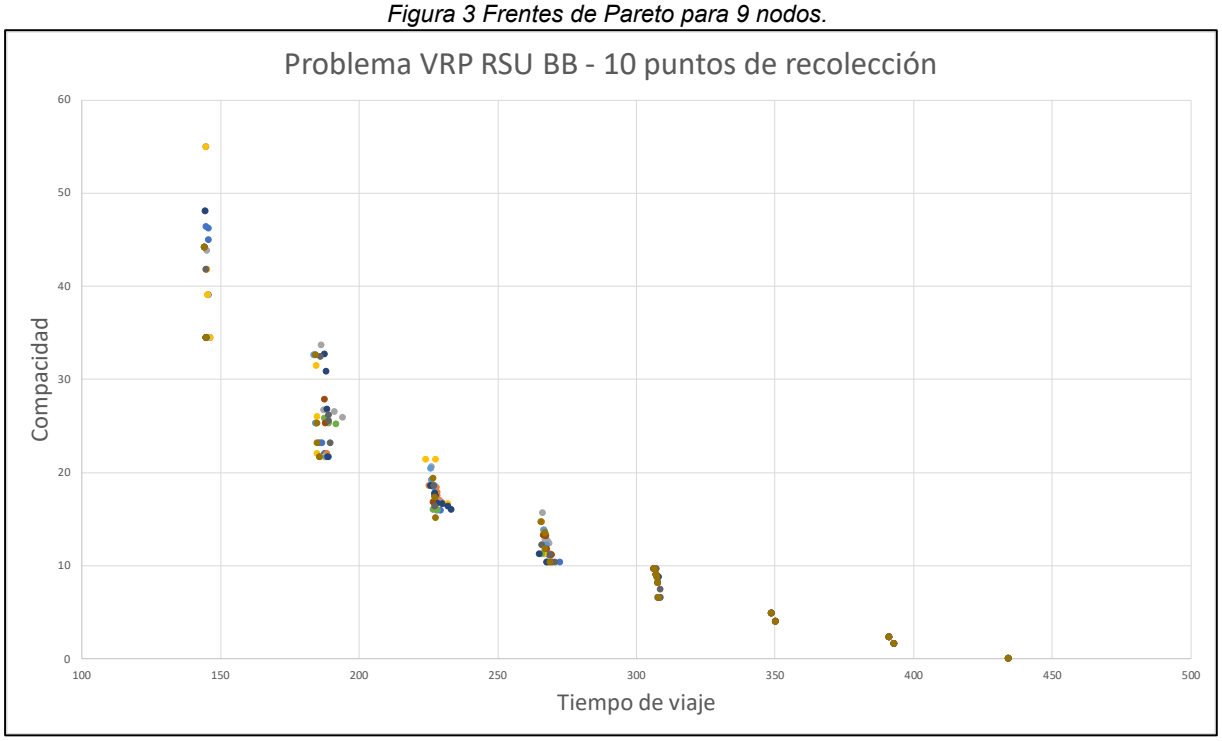


Figura 4 Frentes de Pareto para 10 nodos.

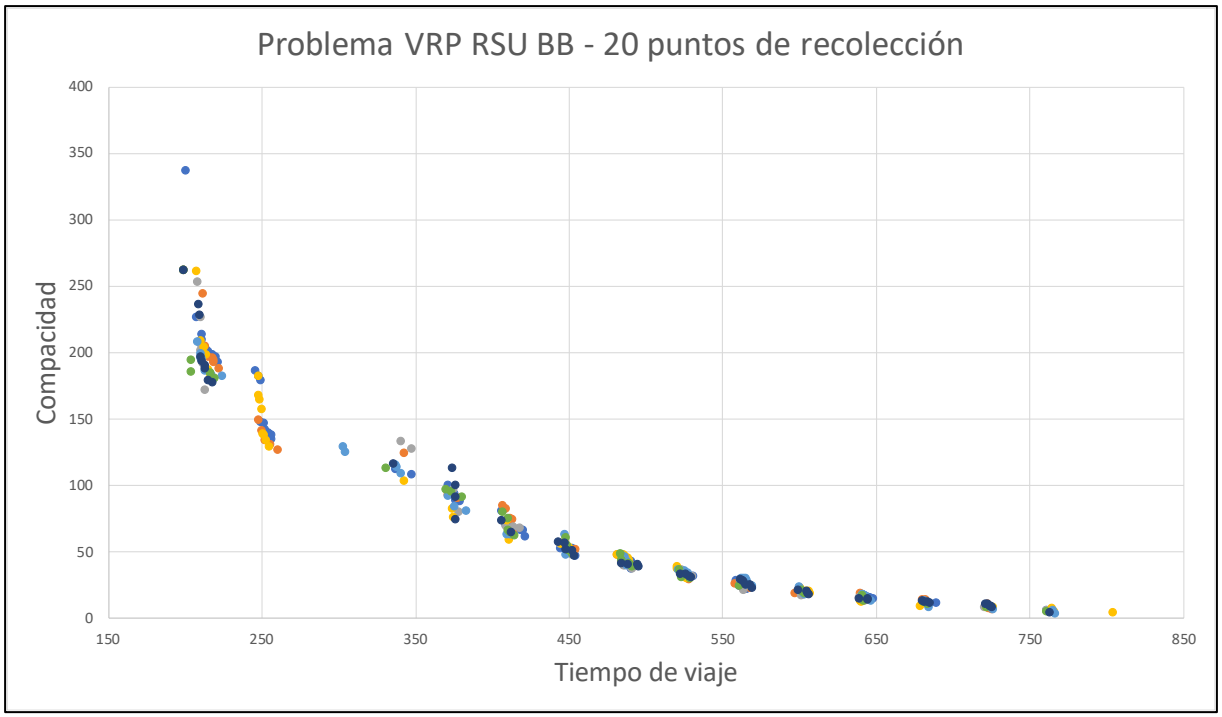


Figura 5 Frentes de Pareto para 20 nodos.

Al tratarse de un método de solución que incluye una componente aleatoria, las figuras muestran las fronteras generadas a partir de diez ejecuciones del algoritmo que aparecen representadas con colores distintos. Puede visualizarse que el algoritmo es capaz de explorar adecuadamente la relación de compromiso entre ambos objetivos y se tiene una adecuada distribución y cobertura a lo largo de las fronteras producidas, aunque se observa cierta dispersión de los resultados que puede indicar la necesidad de utilizar tiempos de cómputo mayores para conseguir fronteras más precisas.

3. CONCLUSIONES

Los problemas de ruteo de vehículos son problemas tradicionales de la investigación de operaciones que han sido ampliamente estudiados ya que se aplican en un gran número de problemas productivos y logísticos. Generalmente, los objetivos que se persiguen en estos problemas están asociados con los costos de transporte directos, como resulta ser la minimización de tiempos de viaje o distancia recorrida. Sin embargo, existen otros objetivos prácticos, tales como la compacidad, que se relacionan con ventajas operativas de los planes de distribución. Ambos tipos de objetivos, compacidad y aquellos vinculados al costo, suelen ser contrapuestos es decir que la mejora en un tipo de objetivo ocurre en desmedro del otro.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, en trabajo se desarrolló una metaheurística basada en recocido simulado para abordar problemas de ruteo de vehículos con límites de tiempo, optimizando simultáneamente los tiempos de viaje y la compacidad de las rutas. Dicha metaheurística fue programada utilizando Visual Basic en un entorno de MS Excel para facilitar el ingreso de datos y la visualización de las soluciones por parte de los usuarios no expertos en investigación de operaciones aprovechando la amplia difusión de este programa en profesionales y empresas. La experimentación computacional que se desarrolló este trabajo permitió identificar la capacidad de la metaheurística en obtener un conjunto de soluciones no dominadas donde se explora la relación de compromiso de estos objetivos y la distribución y cobertura de las soluciones.

Como línea de trabajo a futuro se identifica continuar perfeccionando la herramienta para obtener Frentes de Pareto de soluciones que presenten una menor dispersión de los resultados. Además, se plantea efectuar una comparación de las soluciones obtenidas contra los alcanzadas mediante un modelo de programación lineal entera mixta.

4. REFERENCIAS

Arnold, F. y Sörensen, K. (2019). What makes a VRP solution good? The generation of problem-specific knowledge for heuristics. Computers & Operations Research,106, 280-288.

Constantino, M., Gouveia, L., Mourão, M. y Nunes, A. (2015). The mixed capacitated arc routing problem with non-overlapping routes.European Journal of Operational Research,244(2), 445-456.

Corberán, Á., Golden, B., Lum, O., Plana, I. y Sanchis, J. (2017). Aesthetic considerations for the min-max K-Windy Rural Postman Problem. Networks, 70(3), 216-232.

Dantzig, G. B. y Ramser, J. H. (1959). Optimum routing of gasoline delivery trucks. Proc. Fifth World Petroleum Cong, 19.

Ellegood, W. A., Solomon, S., North, J. y Campbell, J. F. (2020) School bus routing problem: Contemporary trends and research directions. Omega, 95, 102056.

Engrand, P. y Mournay, X. (1998). Une méthode originale d'optimisation multiobjectif. Reporte Técnico HT-14/97/035/A, EDF-DER.

Fermani, M., Rossit, D. G. y Toncovich, A. (2019) Un estudio comparativo de algoritmos metaheurísticos sobre instancias reales de problemas de recolección de RSU. En: XII Congreso de Ingeniería Industrial. Río Gallegos, Argentina.

Hollis, B. y Green, P. (2012). Real-life vehicle routing with time windows for visual attractiveness and operational robustness.Asia-Pacific Journal of Operational Research,29(04), 1250017.

Lakshmanaprabu, S., Shankar, K., Rani, S., Abdulhay, E., Arunkumar, N., Ramirez, G. y Uthayakumar, J. (2019) An effect of big data technology with ant colony optimization based routing in vehicular ad hoc networks: Towards smart cities. Journal of Cleaner Production, 217, 584-593.

Li, Y., Lim, M. K., Tan, Y., Lee, Y. y Tseng, M. L. (2020) Sharing economy to improve routing for urban logistics distribution using electric vehicles.Resources, Conservation and Recycling, 153, 104585.

Nesmachnow, S., Rossit, D. G. y Toutouh, J. (2018) Comparison of Multiobjective Evolutionary Algorithms for Prioritized Urban Waste Collection in Montevideo, Uruguay. Electronic Notes in Discrete Mathematics, 69, 93-100.

Poot, A., Kant, G. y Wagelmans, A. P. M. (2002). A savings based method for real-life vehicle routing problems.Journal of the Operational Research Society,53(1), 57-68.

Rossit, D., Vigo, D., Tohmé, F. y Frutos, M. (2019) Visual attractiveness in routing problems: A review. Computers & Operations Research, 103, 13-34.

Rossit, D. y Toncovich, A. (2023). Un modelo biobjetivo para optimizar los tiempos de viaje y la compacidad de las rutas en problemas de ruteo de vehículos. En: XVI Congreso de Ingeniería Industrial. San Nicolás, Argentina.

Rossit, D., Toncovich, A. y Fermani, M. (2021). Routing in waste collection: A simulated annealing algorithm for an Argentinean case study. Mathematical Biosciences and Engineering: MBE, 18(6), 9579-9605.

Shi, L., Zhang, Y., Rui, W. y Yang, X. (2019) Study on the bike-sharing inventory rebalancing and vehicle routing for bike-sharing system. Transportation research procedia, 39, 624-633.

Toth, P. y Vigo, D. (2014) The vehicle routing problem. Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, Estados Unidos de América.

Ulugu, E., Teghem, J., Fortemps, P. y Tuytttens, D. (1999). MOSA method: a tool for solving multiobjective combinatorial optimization problems. Journal of Multicriteria Decision Analysis, 8(4), 221-236. https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1360(199907)8:4<221::AID-MCDA247>3.0.CO;2-O

Vidal, T., Laporte, G. y Matl, P. (2020). A concise guide to existing and emerging vehicle routing problem variants. European Journal of Operational Research,286(2), 401-416.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por los proyectos de investigación PGI 27/ZJ50 y 24/J096 de la Universidad Nacional del Sur. El primer autor de este trabajo fue financiado por una Beca de Entrenamiento de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires.

"CONTRIBUCIÓN DE LA HERRAMIENTA LEAN MANUFACTURING EN LA MEJORA CONTINUA DE LAS PYMES METAL MECÁNICAS"

Cohen, Rodolfo Saúl; Mantulak, Mario José.

Laboratorio GTEA, Ing. Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones.
Juan Manuel de Rosas 325, Oberá (3360), Misiones.
*rsaulcohen@gmail.com/*saulcohen@fio.unam.edu.ar*; mmantulak@gmail.com*

RESUMEN

El escenario económico actual requiere de cambios en la gestión de las pequeñas y medianas empresas (Pymes) con énfasis en entregas tempranas y continuas, procesos eficaces y flexibles, el uso de la tecnología y la información y la formación de recursos humanos, donde enfrentan desafíos como baja utilización de herramientas de gestión, falta de actualización tecnológica y flujos inadecuados, entre otros.

En el presente artículo, se analiza los beneficios y la contribución de la implementación de la herramienta Lean Manufacturing en la mejora continua en las Pymes metal mecánicas de la provincia de Misiones, Argentina, con el propósito de mejorar los procesos mediante el uso de herramientas como el mapa de flujo de valor (VSM). Lográndose como principales resultados, aplicar la primera fase en el estudio de caso presentado, obteniendo mejoras en el layout, en los procesos de fabricación mediante el mapa de flujo de valor (VSM) el cual permitió identificar actividades que no generan valor y minimizar los desperdicios dentro del proceso. En términos de trabajos a futuro, se resalta la importancia de continuar con las otras fases del modelo de implementación, aplicar la metodología 5S y pasar a la estandarización de los procesos.

Palabras Claves: Lean Manufacturing; Mejora continua; Mapa de Flujo de Valor; Fases de Implementación; Pymes metalmecánicas.

ABSTRACT

The current economic scenario requires changes in the management of small and medium-sized companies (SMEs) with emphasis on early and continuous deliveries, effective and flexible processes, the use of technology and information and the training of human resources, where they face challenges. such as low use of management tools, lack of technological updating and inadequate flows, among others.

In this article, the benefits and contribution of the implementation of the Lean Manufacturing tool in continuous improvement in metal-mechanical SMEs in the province of Misiones, Argentina, are analyzed with the purpose of improving processes through the use of tools such as the value stream map (VSM). The main results were achieved: applying the first phase in the case study presented, obtaining improvements in the layout, in the manufacturing processes through the value flow map (VSM), which allowed identifying activities that do not generate value and minimizing waste. within the process. In terms of future work, the importance of continuing with the other phases of the implementation model, applying the 5S methodology and moving to the standardization of processes is highlighted.

Keywords: Lean Manufacturing; Continuous improvement; Value Stream Map; Implementation Phases; Metalworking SMEs.

1.INTRODUCCIÓN

Las empresas actualmente buscan cada día ser más competitivas en el mercado, y la solución a esto, la encuentran en la diversificación de productos y/o servicios que ofrecen, ya que esto les permite posicionarse en mercados globales. En este sentido, el alcance mundial hace que la expansión de productos, tecnología, información, competitividad y generación de empleos se establezca más allá de culturas y fronteras. Esto provoca que los clientes busquen los mejores productos y/o servicios que satisfagan sus necesidades (Barrios et al., 2022). Por lo comentado anteriormente, se puede ver el intento de innovar mejorar estas empresas haciéndolas más eficaces y competitivas, llevándolas a la búsqueda continua de innovación en el diseño de nuevos productos y de sus procesos, que les permita afrontar el mercado fluctuante actual con el fin de satisfacer las demandas del mercado.

En la actualidad cada vez más las organizaciones de desarrollo de bienes y servicios buscan un factor diferenciador, que les permita ofrecer a sus clientes productos de calidad, reduciendo sus costos e incrementando su productividad con el objetivo de agregar más valor, mejorando su productividad y competitividad. Esto se logra de acuerdo con Cuatrecasas (2016), mediante modelos de gestión utilizados en la conducción de las empresas persiguen fundamentalmente; la eficiencia en el uso de sus recursos y la competitividad para su desarrollo en el mercado. La actividad productiva que desarrolla una empresa debe estar organizada de manera que logre los objetivos previstos, optimizándolos en lo posible, técnica y económicamente con el empleo de los sistemas de gestión adecuados y más avanzados.

Las Pymes constituyen un componente fundamental dentro del espectro empresarial en América Latina. Su importancia se manifiesta a través de formas en la región, como su participación en el número total de empresas o en la creación de empleos, llegándose a extender en algunos países por la participación en el producto (CEPAL, 2012, 2013; Dini et al., 2020). La estructura productiva en la región es diversa, con poca especialización de la mano de obra y productos de bajo valor agregado que influyen en el desempeño empresarial. En Argentina, las Pymes desempeñan un papel preponderante en las economías regionales y del país en general, a pesar de contar con menos recursos. Por tanto, es crucial desarrollar iniciativas para apoyar y sostener su crecimiento.

Esta rama es crucial para la generación de empleo en la industria y requiere una variedad de especialidades para operar, incluyendo mecánicos, técnicos, herreros, soldadores, electricistas, torneros e ingenieros (Flores et al., 2018). Tanto factores internos como externos afectan el desempeño y eficiencia de las empresas en este sector. Los actuales modelos de gestión empresarial gestionan producciones con poca flexibilidad y no se adaptan a las cambiantes necesidades del cliente. Estas deficiencias se reflejan en los bajos niveles de productividad y competitividad empresarial. Además, se ven impactadas las actividades relacionadas con la transformación del insumo y materia prima en producto final, así como las técnicas de planificación de producción y los controles realizados (Paravié et al., 2012; Rete & Pinto, 2019).

Según estudios realizados por diferentes autores Bareño (2020); Laurenziello (2017); Maccarone (2017); Quezada-Torres et al. (2018) en los que se detallan las debilidades de las Pymes, en particular en el sector metalmecánico de la Argentina y en Latinoamérica, pueden resumirse como: baja utilización de herramientas de gestión que favorezcan la eficiencia en los procesos operativos y en la toma de decisiones; necesidad de actualización tecnológica de los equipos utilizados en los procesos productivos; inadecuados flujos de procesos; falta de control de las operaciones; ausencia de estandarización de productos y falta de capacitación de la mano de obra. Por lo tanto, para ser más eficientes y efectivas en el mercado en el cual participan, las Pymes tienen que estar constantemente mejorando o innovando tanto sus procesos como sus productos, ya que de esa manera obtienen un margen de utilidad mayor, además de generar una operación más eficiente, un mayor nivel de rendimiento y establecer diversas ventajas competitivas (López-Torres et al., 2016).

1.1 Sistema Lean Manufacturing

Lean es una palabra inglesa que se puede traducir como “ágil” o “esbelto”, aplicándolo a un sistema productivo significa “flexible”; es decir, la cualidad de adaptarse a las necesidades del cliente. Se basa en la reducción de los recursos innecesarios y la eliminación de los retrasos en las operaciones de la fábrica El término Lean (esbelto) introducido por primera vez por dos importantes libros: The machine that changed the world, de James Womack, Daniel Jones y Daniel Roos; y Lean Thinking, de James Womack y Daniel Jones. Los autores anteriores fueron lo que dieron el nombre de Lean Manufacturing al sistema (Vargas-Hernández et al., 2016).

De acuerdo a Krajewski (2013) los sistemas esbeltos abarcan la estrategia de operaciones, diseño de procesos, administración de la calidad, administración de restricciones, diseño de la distribución física, diseño de la cadena de suministro, gestión de la tecnología e inventarios de una empresa, y puede usarse tanto en empresas de servicios como manufactureras. Se define como una filosofía de trabajo, basada en las personas, que define la forma de mejora y optimización de un sistema de producción focalizándose en identificar y eliminar todo tipo de "desperdicios", que se observan en la producción: sobreproducción, tiempo de espera, transporte, exceso de procesado, inventario, movimiento y defectos (Matías & Idoipe, 2013).

1.2 Los Pilares del Lean Manufacturing

Los pilares del lean manufacturing presentado por Carreras (2010) se dividen en tres y son los siguientes: la filosofia kaizen (mejora continua), el control total de la calidad en todas las actividades, y el Just In Time. El primer pilar es la mejora kaizen, consiste en una acumulación gradual y continua de pequeñas mejoras hechas por todos los empleados y directivos. El segundo pilar es el Control Total de la Calidad, cuyas primeras palabras fueron empleadas por primera vez por el norteamericano Feigenbaum donde exponía que todos los departamentos de la empresa, deben implicarse en el control de la calidad, porque la responsabilidad del mismo recae en los empleados de todos los niveles (Carreras, 2010). Por último, el tercer pilar, el Just In Time pretende fabricar los artículos necesarios en las cantidades requeridas y en el instante preciso.

La producción esbelta de acuerdo a Chase et al. (2009), se basa también en la lógica de que no se va a producir nada hasta que se necesite. La necesidad de producción se crea con base en la demanda real del producto. La transición desde una producción tradicional a una esbelta, flexible y ágil requiere además de cumplir con todo lo anterior, también sobrevivir y avanzar en las condiciones de los cambios continuos e impredecibles (Bednarek & Santana Villagra, 2017). Estos conceptos de agilidad, se muestra en la Figura 1.

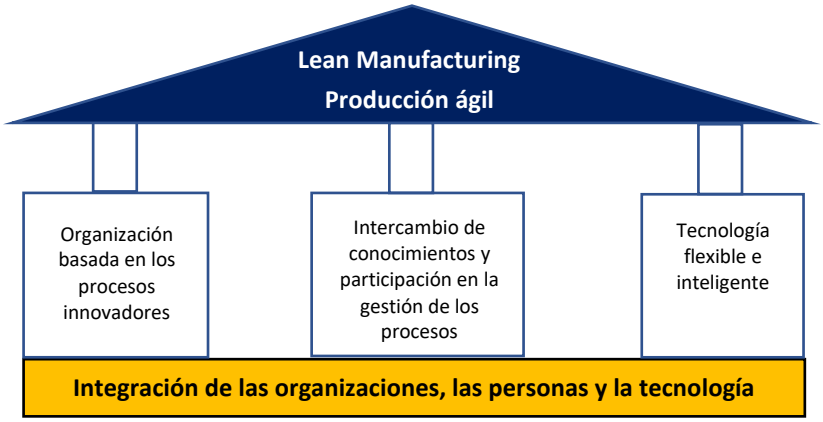


Figura 1. Conceptos de agilidad.
Fuente: Bednarek and Santana Villagra (2017); Hernández and Vizán (2013).

1.3 Principios del sistema Lean

En su trabajo Liker and Arbós (2010) definen el enfoque Lean manufacturing como un proceso de cinco pasos: definir el valor del cliente, definir el flujo de valor, hacerlo fluir, tirarlo (pull) desde el final (cliente) y perseguir la excelencia. Para una producción lean se requiere un cambio de mentalidad enfocándose en la realización del flujo de producto a través de procesos de valor añadido, con un sistema "pull" que avanza desde el final a partir de la demanda del cliente completando sólo lo que la siguiente operación necesita, en intervalos cortos, y en una cultura en que cada uno está continuamente persiguiendo la mejora. Cuando se usa el método de "tirón" o de jalar, la demanda del cliente activa la producción del bien o servicio.

De acuerdo a lo que comenta Locher (2017) el trabajo estandarizado es una de las bases del pensamiento Lean, es el mejor medio conocido para realizar una actividad de forma eficaz y eficiente. Otra de las cosas es que el trabajo estandarizado define la secuencia deseada de pasos, el tiempo necesario para dar los pasos y otros elementos que aseguren que una determinada actividad se lleva a cabo de forma regular a lo largo del tiempo.

A continuación, definimos el despilfarro, como todo aquello que no añade valor al producto o que no es absolutamente esencial para fabricarlo y que resulta necesario para realizar las actividades

y que ayudan a la estandarización de los procesos. Una vez iniciada la batalla para disminuir el despilfarro, hay que focalizarse en su localización e identificar los distintos tipos de despilfarros en que este puede presentarse. Los mismos se identifican en todos los procesos de manufactura y en particular en las Pymes metalmecánicas son los siguientes: sobreproducción, tiempo de espera, transporte o movimientos innecesarios, sobre proceso, stock, defectos o errores generados por los operarios.

De acuerdo con el panorama señalado y que caracteriza la situación problemática, es que se torna indispensable avanzar en trabajos que contribuyan a mejorar los procesos productivos en las Pymes metalmecánicas latinoamericanas, sobre la base del fortalecimiento de la capacidad de producción a partir de la herramienta Lean Manufacturing. Por ello, el objetivo de este trabajo es analizar los beneficios y la contribución de la implementación de la herramienta Lean Manufacturing en la mejora continua en las Pymes metal mecánicas de la provincia de Misiones, Argentina.

2. METODOLOGÍA

El método de estudio de caso es una herramienta valiosa de investigación, y su mayor fortaleza radica en que a través del mismo se mide y registra la conducta de las personas involucradas en el fenómeno estudiado. Además, en el método de estudio de caso los datos pueden ser obtenidos desde una variedad de fuentes, tanto cualitativas como cuantitativas; esto es, documentos, registros de archivos, entrevistas directas, observación directa, observación de los participantes e instalaciones u objetos físicos (Carazo, 2006). el estudio de casos una posición cercana al realismo, con métodos objetivos de búsqueda y análisis de la evidencia es posible llegar a teorías confiables (Yacuzzi, 2005).

El estudio inicial se realiza en una empresa metalmecánica ubicada en la ciudad de Posadas provincia de Misiones, la cual realiza proyectos en la cual diseña, fabrica y realiza instalaciones metalmecánicas.

2.1 Modelo de implementación de Lean Manufacturing.

A continuación, se presenta la propuesta de Cadavid (2013), en la Figura 2, como un proceso de mejoramiento definido en cuatro fases, es necesario incluir formalmente la necesidad del Kaizen (mejoramiento continuo) como actividad principal y permanente de cualquier implementación de Lean Manufacturing. Esta se ubica en la parte superior, representando la cultura de mejoramiento continuo, la cual es gradual, ya que la forma de pensar y actuar de las personas no cambia instantáneamente, de un día para otro.

Las fases que lo componen son las siguientes: se inicia en su primera fase, con el mapa de flujo del proceso (VSM), continuando con la organización de la casa (5S), diseño de los mejores procesos internos y por último la conexión con la demanda (pull- push, donde el cliente jala o empuja).

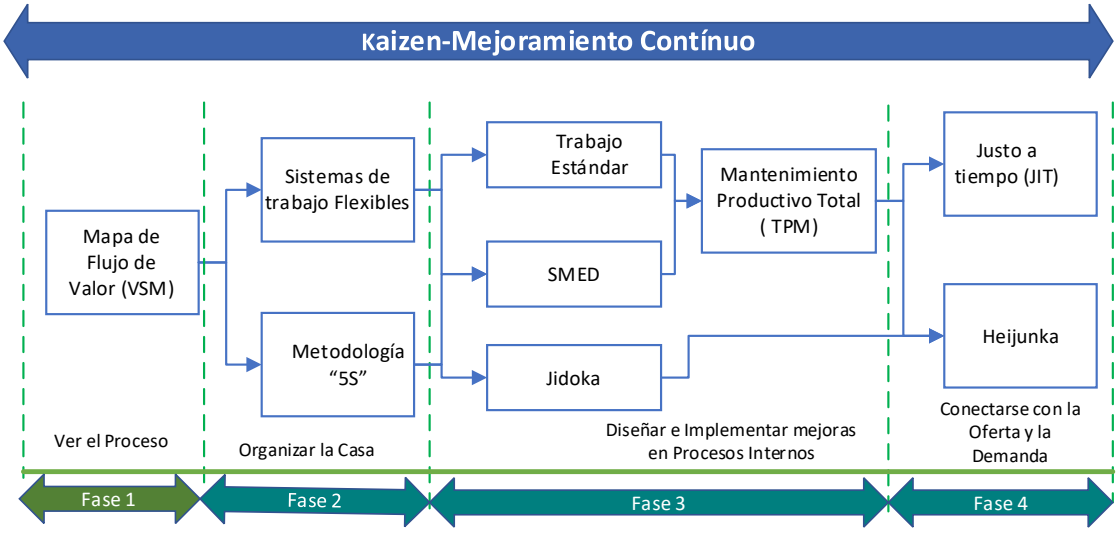


Figura 2. Modelo de implementación de Lean Manufaturing.
Fuente: Adaptado de Cadavid (2013).

En la segunda fase, es necesario organizar la planta por celdas de trabajo tipo "U" con grupos de

trabajo flexibles, posteriormente aplicar la metodología 5S. En la tercera fase se procede a la estandarización de los procesos, en las operaciones y procedimientos de trabajo, es necesario haber desarrollado el entrenamiento específico para el trabajo de la celda, la organización del lugar de trabajo y documentar los procesos. Enfocarse a un mantenimiento cada vez más autónomo y productivo y en la última fase establecer el contacto con los clientes.

2.2 Mapa de Flujo de valor (VSM)

De acuerdo a Carreras (2010) es una herramienta gráfica de mejora continua de procesos, que permite visualizar todas las actividades que ocurren a lo largo de un flujo de valor (necesarios en el proceso de fabricación) cuyo objetivo principal es identificar las actividades que no generan valor, para un producto o familia de productos (Ver Figura 3)(Quesada et al., 2018) . En particular, como herramienta de diagnóstico se sugiere el mapa de flujo de valor o Value Stream Map (VSM), donde se establecen los criterios para la construcción de un VSM actual (Singh & Sharma, 2009). Además, de presentar la información de tiempos de procesamiento, tiempos de espera en inventario y lead times totales, facilita la detección de oportunidades de mejoramiento aplicando las técnicas Lean. Es posible intervenir sobre las cantidades de inventarios o los tiempos de trabajo o espera, pero cualquier cambio favorable en una de esas variables tendrá inmediatamente un impacto positivo en la otra (Cadavid, 2013).

El análisis del flujo del valor permitirá mostrar tres tipos de actividades: las que generan valor y son vitales para el proceso. 2) las que no generar valor. 3) las actividades que no agregan valor y pueden ser eliminadas. Dentro del gráfico se representan el flujo de materiales, flujo de información e indicadores clave, a lo largo de los distintos procesos (actividades) de la cadena de valor (Carballo-Mendívil et al., 2018).

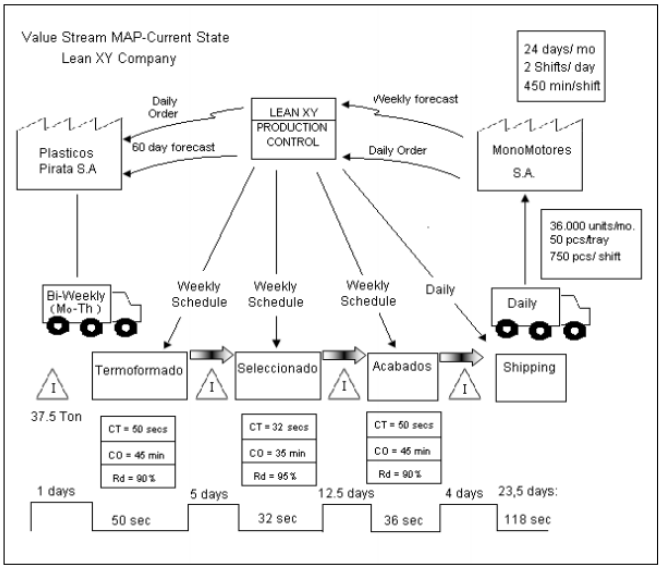


Figura 3. Mapa de la Cadena de Valor del Producto XY.
Fuente:Cadavid (2013).

Cálculo del Tack Time

En segundo término se calcula El Tack Time es el ritmo de producción (frecuencia en la que un producto terminado abandona la línea) que debe llevar el sistema para poder satisfacer las necesidades del cliente y se define en la ecuación (4.1).

$$\boldsymbol{Tack\ Time} = \ tiempo\ disponible\ por\ periodo / demanda\ por\ periodo\ del\ cliente \qquad (4.1)$$

$$Tiempo\ disponible\ por\ periodo\ (td) = \ tiempo\ por\ periodo - \ tiempo\ de\ descansos\ (reunión\ o\ limpieza\ etc.)$$

A continuación, se define el tiempo del ciclo *(TC)* como el tiempo que pasa entre la salida de un producto y el siguiente, mediante la ecuación 4.2:

$$\boldsymbol{TC} = \ tiempo\ disponible\ por\ periodo / \ cantidad\ producida\ por\ periodo. \qquad (4.2)$$

Lote se refiere al número de unidades a producir. Tiempo de cambio de partida (TCP), es el tiempo que se tarda en cambiar de un tipo de producto a otro tipo de producto.

La capacidad Actual de producción

La capacidad actual está definida mediante la ecuación 4.3. El tiempo de funcionamiento *(tf)*, es el porcentaje de tiempo en que la máquina está ocupada en demanda.

$$\boldsymbol{Capacidad\ Actual} = (td/TC).tf \qquad (4.3)$$

Cálculo del Lead Time

Estimar el lead-time (tiempo que necesita desde la llegada de la materia prima hasta el despacho al cliente), está definida en la ecuación 4.4, estará formado básicamente por la suma de: El tiempo que tarda una pieza en ser procesada, a partir del tiempo de ciclo de cada proceso: (TVA) o llamado tiempo de valor añadido.

El tiempo de espera de una pieza en las áreas de inventario (TNVA) se define como:

$$\boldsymbol{TNVA} = (unidades\ de\ inventario/\ demanda\ diaria) \qquad (4.4)$$

Cálculo del ratio de valor (VAR)

El valor del ratio de valor (VAR) se define mediante la ecuación 4.5, como la relación entre el tiempo que genera valor y el que no genera valor:

$$\boldsymbol{Valor\ del\ radio\ de\ valor\ (VAR)} = TVA/TVNAVAR \qquad (4.5)$$

Este indicador de valor nos indica , cuanto de valor agregado que le estamos aportando al producto y si debemos realizar mejoras que incrementen dicha relación.

3. RESULTADOS

Se estudia la utilidad de la aplicación de procesos esbeltos (Lean) en una empresa metalmecánicas analizada como caso de estudio en la provincia de Misiones, analizando el proceso de fabricación ca campanas de extracción de aire, mediante el uso de análisis del Flujo de valor.

En la primera fase (de acuerdo a la Figura 2) se procede a analizar el proceso en forma detallada los diagramas de bloque de manera de identificar los procesos críticos y productos no conformes y las actividades que no generen valor en el servicio de posventa y garantía, para dar paso al análisis mediante el mapa de flujo de Valor (VSM). El análisis del flujo del valor permitirá mostrar tres tipos de actividades: las que generan valor y son vitales para el proceso. 2) las que no generar valor. 3) las actividades que no agregan valor y pueden ser eliminadas.

Dentro del gráfico se representan el flujo de materiales, flujo de información e indicadores clave, a lo largo de los distintos procesos (actividades) de la cadena de valor (Carballo-Mendívil et al., 2018).



Figura 4. Diagrama de bloque del proceso de Fabricación de Campanas de extracción de aire. Fuente: Elaboración propia.

Cálculo del Tack Time

La demanda mensual campanas de extracción domiciliarias, es de 60 unidades por mes (Este valor sale de considerar el punto de equilibrio, para cubrir los costos fijos y variables, definidos en un estudio anterior), lo cual representa una demanda de 3 un/dia, tomando 20 días hábiles al mes.

Para el caso de la empresa analizada, se calcula la TT (ecuación 4.1), se tendrá un solo turno de 8 hs por día, con dos descansos de 15 min cada 4 hs, se define el tiempo disponible (td):

$$tiempo\ disponible\ (td) = 8\ hs.x60\ min - 2x15\ min = 450\ min.$$
$$Tack\ Time = 450\ min/\ 3\ uni/dia = 150\ min/un.$$

Luego para realizar el diagrama de flujo se representan los procesos de izquierda a derecha. Debajo de cada proceso pasamos a definir y calcular una serie de indicadores, los de valores de tiempos se estimaron por comparación de trabajos realizados en el armado de campanas industriales similares y de piezas de fabricadas para ventilación mecánica.

La capacidad de producción

El Tiempo de funcionamiento (tf) de una máquina, en un día de 8 hs está ocupada trabajando 6 hs, su ocupación tf será del 75%, definiendo la capacidad actual mediante la ecuación 4.3.

$$\boldsymbol{Capacidad\ Actual} = \frac{450min.}{8hs.60min} x0{,}75 = 0{,}70$$

El paso siguiente se identifica en los procesos, el inventario (es donde se detiene el flujo) indicándose con un triángulo. También se dibujan los despachos de entrada y salida de materiales o productos terminados por medio de camiones. Se dibujan además los proveedores más importantes.

El flujo de información se representa por una línea delgada en zigzag cuando fluya por conductos electrónicos en lugar de papel. El flujo “push” (empujar) para el caso que estamos presentando de la campana extractora se indica con una flecha negra y blanca.

Cálculo del Lead Time

Se dibuja una línea de tiempo debajo de los casilleros de cada proceso, separando los tiempos correspondientes a actividades de valor añadido del de actividades de No valor añadido.

El tiempo que tarda una pieza en ser procesada (a partir del tiempo de ciclo de cada proceso), llamado tiempo de valor añadido (TVA). El tiempo de valor añadido para el caso que analizamos estimativamente se tiene las siguientes actividades y su tiempo de ciclo (Ver Figura 4 y 5) de corte, plegado, armado, soldado, pulido, armado de partes y conexionado-prueba final):

$$TVA = (15 + 15 + 20 + 20 + 20 + 40 + 20)min = 150\ Min.$$

El tiempo de no valor añadido (ver Ecuación 4.4) de acuerdo a cada inventario entre los procesos valdrá para el caso de corte de la chapa que tenemos un inventario de 50 chapas se obtiene:

$$TNVA = 50\ unidades\ /3\ unidades/dia = 17\ días$$
$$TVNA = 17 + 3 + 2 + 2 + 2 + 2 = 28\ días.$$

Cabe mencionar que el nuevo sistema tendrá en cuenta el mapeo de la cadena de valor tanto para analizar el desarrollo de producto actual como para diseñar el estado futuro, lo cual permitirá detectar desperdicios y diseñar de manera armónica las diferentes actividades que lo componen.

El valor del radio de valor (VAR) (ver ecuación 4.5), vale:

$$\boldsymbol{Valor\ del\ radio\ de\ valor\ (VAR)} = 150min/28\ diasx8hsx60 = \mathbf{0{,}011}$$

Con la cual se demuestra que actualmente es muy bajo el valor agregado que le estamos aportando al producto y debemos realizar mejoras que incrementen dicha relación.

Todos estos valores se pueden apreciar en el Diagrama de Flujo de Valor (VSM) en la Figura 5, en la que se representa esquemáticamente el proceso de fabricación de la campana de extracción, de forma que permita una fácil identificación de las operaciones que aportan valor con respecto a las operaciones que serán consideradas mudas o desperdicios, permitiendo esto priorizar las acciones de mejora futura. Además permite leer de derecha a izquierda, la información que proporcionan las órdenes de compra de los clientes, las cuales permiten la ejecución de un proceso de planeación que emite un pronóstico de compra a los proveedores, actividades administrativas y de gestión que se involucran en el logro del cumplimiento de los objetivos de la empresa vista como un todo (Carballo-Mendívil et al., 2018).

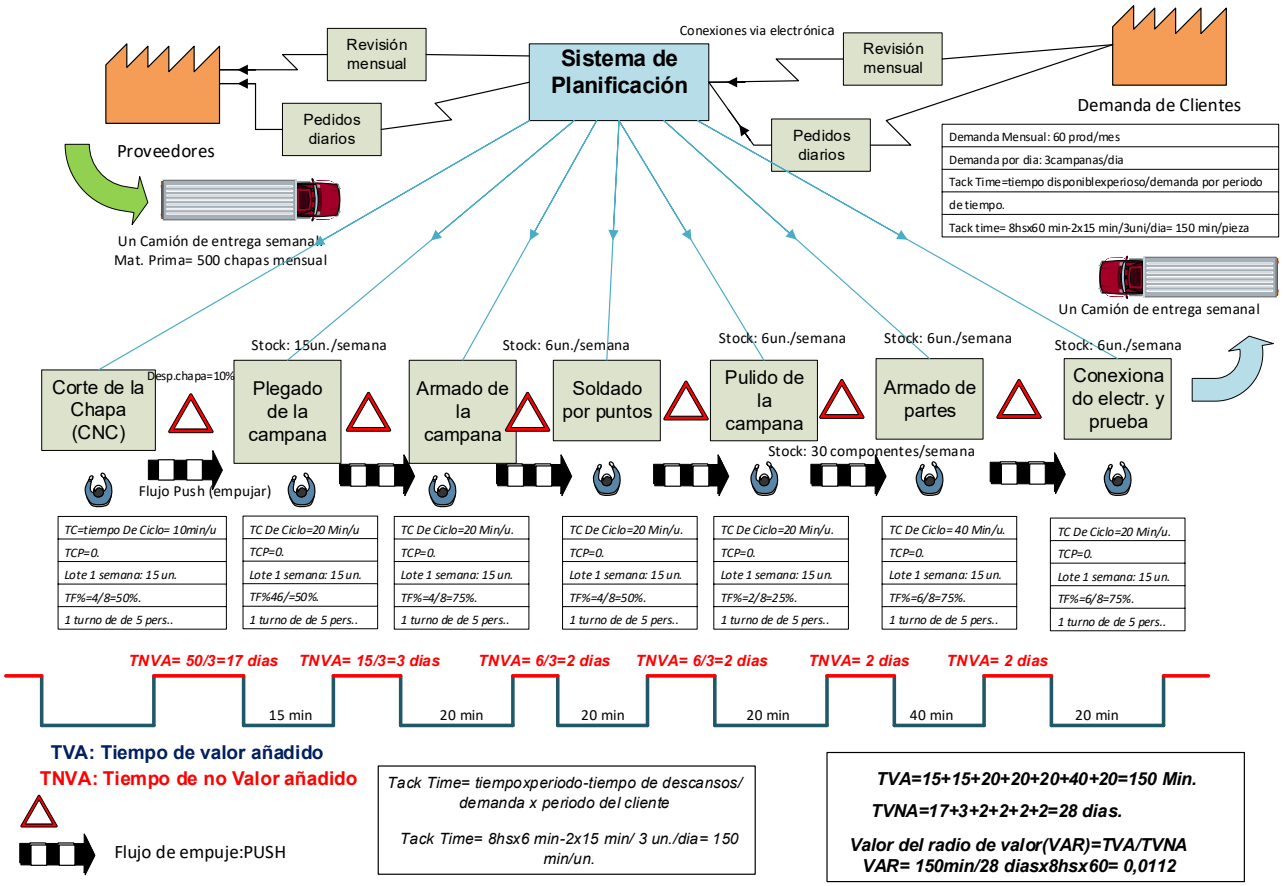


Figura 5. Diagrama de Flujo de Valor (VSM) para la fabricación de campanas extractoras.

Fuente: Elaboración propia.

En base a estos primeros resultados en la pyme metalmecánica analizada, se realizaron los cambios, mejoras e innovaciones en el esquema de ubicación maquinas (Layout) del proceso de fabricación, con el fin de disminuir algunos de los desperdicios identificados, como el tiempo de transportes, de movimientos y de esperas. Se adaptó la entrada y salida de materia prima (chapas) donde el almacenamiento se encontraba alejado del lugar donde se carga la chapa en la máquina de corte CNC, por lo que ese tiempo de transporte era elevado. Se agregó para la descarga de chapas (desde el camión) por medio de un aparejo eléctrico, lo que permitirá disminuir los tiempos transporte sobre el apilador de chapas en forma casi directa a la mesa de corte. (Cohen, 2021).

Los siguientes pasos a futuro a desarrollar en el estudio de caso analizado, es avanzar con las fases 2 y 3, planteado en el modelo de implementación (Ver Figura 3), donde en la fase 2 (organizar la casa) debemos aplicar la metodología 5S y celdas de trabajo flexible. Luego pasamos a la estandarización de los procesos y procedimientos de trabajo en la fase 3, donde es necesario haber desarrollado el entrenamiento específico para el trabajo de la celda, la organización del lugar de trabajo y documentar los procesos. Enfocarse a un mantenimiento cada vez más autónomo y productivo y en la última fase establecer el contacto con los clientes.

Dentro de las herramientas de seguimiento propias de Lean a ser utilizado en cada una de estas fases, es el uso de los indicadores clave de desempeño o key performance indicator (kpi), a través de los cuales es posible examinar el comportamiento de los procesos y los flujos del sistema productivo (Sarria Yépez et al., 2017). La implementación de Indicadores de seguimiento de objetivos (KPI´s) son herramientas indispensables para dirigir una organización o un proceso, generando así ciclos de mejora en cada una de estas fases. Disponer de los indicadores adecuados permite anticiparse a los problemas y que todo el personal de la empresa esté alineado con los objetivos y estrategias de la misma (Martín Vázquez, 2013).

4. CONCLUSIONES

La implementación efectiva del Lean Manufacturing puede contribuir significativamente a mejorar la eficiencia operativa y competitividad en las Pymes metalmecánicas. En este trabajo en particular

se resalta la aplicación de la primera fase en el estudio de caso presentado, obteniendo mejoras en el layout, la reducción de desperdicios en los procesos de fabricación mediante el mapa de flujo de valor (VSM) se logró identificar actividades que no generan valor y minimizar los desperdicios dentro del proceso.

El mapa de flujo de valor muestra gráficamente en la parte inferior con la línea en zig-zag, en cada una de las actividades del proceso, identificando los tiempos que se agrega valor y los tiempos que no se agrega valor, siendo dichos tiempos muy importantes para poder realizar mejoras en cada punto del proceso, representado por el ratio o indicador de valor, dichas mejoras pueden ser llevadas a cabo acortando los tiempos de movimientos por medio de celdas de trabajo flexibles, planteadas en la fase 2. Otros de los datos representados en el mapa de flujo de valor son los flujos de materiales e información, la relación entre los proveedores y la cadena de valor, y los requerimientos de los clientes; tiempos de entrega, disponibilidad del proceso, métodos de programación de la producción, consumo energético.

Los pasos a futuro y que pueden dar lugar a nuevas líneas de estudio, es continuar con las otras fases del modelo de implementación planteado, mediante la utilización de la metodología “5S” y celdas de trabajo flexible. Luego pasar a la estandarización de los procesos y procedimientos de trabajo. Además, se sugiere el uso de indicadores clave del desempeño (KPIs) para realizar un seguimiento continuo y medir la eficiencia del proceso.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bareño, E. O. A. (2020). Integración de Lean, Design Thinking y Agile en la gestión de proyectos. *SIGNOS-Investigación en sistemas de gestión*, *12*(2), 161-174.

Barrios, M. E. S., Quintero, W. Q., & Ascanio, J. G. A. (2022). Innovación Abierta: Un análisis bibliométrico. *Desarrollo Gerencial*, *14*(2), 1-33.

Bednarek, M., & Santana Villagra, J. M. (2017). La aplicación del Lean Manufacturing: los casos de Polonia, México y Chile (modelos, práctica y experiencia). In: Universidad Autónoma de Chile.

Cabrera Valverde, H. S. (2016). Propuesta de mejora de la calidad mediante la implementación de técnicas Lean Service en el area de servicio de mécanico de una empresa automotriz.

Cadavid, L. R. (2013). Justificación conceptual de un modelo de implementación de Lean Manufacturing. *Heurística. Octubre*.

Carazo, P. C. M. (2006). El método de estudio de caso: estrategia metodológica de la investigación científica. *Pensamiento & gestión*(20), 165-193.

Carballo-Mendívil, B., Arellano-González, A., & Ríos-Vázquez, N. J. (2018). La Gestión De Procesos Como Principio De Mejora Un Caso Aplicado a Una Comercializadora. *3C Empresa*, *7*(3), 60.

Carreras, M. R. (2010). *Lean Manufacturing. La evidencia de una necesidad*. Ediciones Díaz de Santos.

CEPAL, N. (2012). Perspectivas económicas de América Latina 2013: políticas de PYMES para el cambio estructural.

CEPAL, N. (2013). *Perspectivas económicas de América Latina 2014: logística y competitividad para el desarrollo*. OCDE.

Chase, R., Jacobs, R., & Aquilano, N. (2009). Administración De Operaciones. Producción y cadena de suministros. In: Duodécima Edición. Editores: Mcgraw-Hill / Interamericana. .

Cohen, R. S. (2021). Aplicación de técnicas de desarrollo de productos con enfoque Lean Thinking asociado a una gestión de cambio agile en una empresa metal mecánica. XI-JIDeTEV-2021,

Cuatrecasas, L. (2010). Lean management, la gestión competitiva por excelencia: implantación Progresiva en 7 etapas Editorial Profit. In: Barcelona.

Cuatrecasas, L. (2016). *Claves del lean management en tiempos de maxima competitividad: Cómo gestionar en la práctica una empresa altamente competitiva*. Profit Editorial.

Dini, M., Stumpo, G., & Eueopea, U. (2020). *Mipymes en América Latina: un frágil desempeño y nuevos desafíos para las políticas de fomento*. Cepal.

Flores, A., Monzón, C., Bernal, P. G., Arquier, P. L., Pérez, M., Villamil, A., . . . Castellani, A. (2018). La Industria Metalmecánica en Chaco. Indicios para su Desarrollo. In: EscueladeGobierno.

Hernández, J., & Vizán, A. (2013). Lean manufacturing Conceptos, técnicas e implantación. *Madrid: Fundación EOI*, *178*, 978-8415061403.

Krajewski, L. J., Ritzman, Larry P.& Malhotra, Manoj K. . (2013). *Administración de operaciones. Procesos y cadena de suministro.*

Laurenziello, M. S. (2017). *Aplicación Práctica de Herramientas de Calidad para la búsqueda de eficiencia en Industrias Pyme metal-mecánicas de la Republica Argentina.* Universidad de Palermo.

Liker, J. K., & Arbós, L. C. (2010). *Las claves del éxito de Toyota: 14 principios de gestión del fabricante más grande del mundo*. Gestión 2000.

Locher, D. (2017). *Lean office: Metodología Lean en servicios generales, comerciales y administrativos*. Profit Editorial.

López-Torres, G. C., Maldonado Guzmán, G., Pinzón Castro, S. Y., & García Ramírez, R. (2016). Colaboración y actividades de innovación en Pymes. *Contaduría y administración*, *61*(3), 568-581.

Maccarone, J. L. (2017). *Método de ponderación de la competitividad de PyMEs del sector industrial metalmecánico* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).].

Martín Vázquez, J. (2013). Indicadores de evaluación de la implementación del lean manufacturing en la industria.

Matías, J. C. H., & Idoipe, A. V. (2013). *Lean manufacturing: concepto, técnicas e implantación*. Fundación EOI.

Paravié, D., Rohvein, C., Urrutia, S., Roark, G., & Ottogalli, D. (2012). Diseño de un instrumento para evaluar el desempeño de las actividades que integran la cadena de valor de pymes metalmecánicas de Olavarría. *Inge Cuc*.

Quesada, H. J., Buehlmann, U., & Arias, E. (2018). Pensamiento Lean: ejemplos y aplicaciones en la industria de productos de madera.

Quezada-Torres, W. D., Hernández-Pérez, G. D., González-Suárez, E., Comas-Rodríguez, R., Quezada-Moreno, W. F., & Molina-Borja, F. (2018). Gestión de la tecnología y su proceso de transferencia en Pequeñas y Medianas Empresas metalmecánicas del Ecuador. *Ingeniería Industrial*, *39*(3), 303-314.

Rete, O. M., & Pinto, O. I. (2019). Analisis de Factibilidad Operacional del Modelo Lean Management en Pymes del Parque Industrial, San Francisco Cordoba Argentina. IV Congreso Internacional de Investigación de la Red Radar. Colombia.

Rivera Cadavid, L. (2013). Justificación conceptual de un modelo de implementación de lean manufacturing.

Sarria Yépez, M. P., Fonseca Villamarín, G. A., & Bocanegra-Herrera, C. C. (2017). Modelo metodológico de implementación de lean manufacturing. *Revista EAN*(83), 51-71.

Singh, B., & Sharma, S. (2009). Value stream mapping as a versatile tool for lean implementation: an Indian case study of a manufacturing firm. *Measuring business excellence*, *13*(3), 58-68.

Vargas-Hernández, J. G., Muratalla-Bautista, G., & Jiménez-Castillo, M. (2016). Lean M anufacturing¿ una herramienta de mejora de un sistema de producción? *Ingeniería Industrial. Actualidad y nuevas tendencias*(17), 153-174.

Yacuzzi, E. (2005). *El estudio de caso como metodología de investigación: teoría, mecanismos causales, validación*.

"ÚLTIMA MILLA LOGÍSTICA EN LA CADENA DE SUMINISTRO GLOBAL DE PRODUCTOS FRESCOS FRUTIHORTÍCOLAS"

Berardi, María Betina[1]; Onaine, Adolfo Eduardo[1]

[1]Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata.
Av. Juan B. Justo 4302 - B7608FDQ Mar del Plata. bberardi@fi.mdp.edu.ar

RESUMEN

En el contexto de la cadena de suministro global, la logística desempeña un papel crucial en la eficiencia y la satisfacción del cliente. Uno de los desafíos más importantes que enfrentan las empresas es la optimización de la "última milla", es decir, la etapa final de entrega desde el centro de distribución al cliente final. En particular, la última milla de productos frutihortícolas frescos es un segmento complejo y desafiante que se caracteriza por requerir condiciones de temperatura y humedad controlada; envíos de volumen pequeño y alta frecuencia; consumidores en zonas urbanas congestionadas; y una ventana de entrega limitada debido a la naturaleza perecedera de los productos. Estos desafíos pueden resultar en mermas, retrasos y clientes insatisfechos. El objetivo del presente trabajo es realizar una revisión bibliográfica de los diversos aspectos relacionados con la última milla en el sector de productos frescos frutihortícolas. Se realizó un análisis bibliométrico en distintas bases de datos, obteniéndose una serie de indicadores tanto de calidad como de cantidad. Los resultados revelan que la mayoría de las publicaciones provienen de países desarrollados, donde se investiga ampliamente el uso de tecnologías avanzadas y soluciones innovadoras en la gestión de la última milla logística. En contraste, se percibe una notable escasez de estudios centrados en las cadenas de suministro de Latinoamérica.

Palabras Claves: cadena de suministro, última milla, logística, productos frutihortícolas.

ABSTRACT

In the context of the global supply chain, logistics plays a crucial role in efficiency and customer satisfaction. One of the most important challenges facing companies is the optimization of the "last mile", that is, the final stage of delivery from the distribution center to the final customer. In particular, the last mile of fresh fruit and vegetable products is a complex and challenging segment characterized by requiring controlled temperature and humidity conditions; small volume and high frequency shipments; consumers in congested urban areas; and a limited delivery window due to the perishable nature of the products. These challenges can result in losses, delays and dissatisfied customers. The objective of this work is to carry out a bibliographic review of the various aspects related to the last mile in the fresh fruit and vegetable products sector. A bibliometric analysis was carried out in different databases, obtaining a series of indicators of both quality and quantity. The results reveal that most publications come from developed countries, where the use of advanced technologies and innovative solutions in last mile logistics management is widely researched. In contrast, there is a notable lack of studies focused on Latin American supply chains.

Keywords: supply chain, last mile, logistics, fruit and vegetable products.

1. INTRODUCCIÓN

En el contexto de la cadena de suministro global, la logística desempeña un papel crucial en la eficiencia y la satisfacción del cliente. Sin embargo, uno de los desafíos más importantes que enfrentan las empresas es la optimización de la "última milla", es decir, la etapa final de entrega desde el centro de distribución al cliente final. Surge entonces un desafío importante: garantizar que el producto llegue en perfectas condiciones desde el almacén hasta el domicilio del cliente. Esta etapa final del proceso puede representar una dificultad considerable para las empresas. (Akkad, 2022)

La última milla de entrega se refiere al tramo final del recorrido de un producto desde su lugar de almacenamiento hasta su llegada al cliente final. Esta fase, aunque es la más tardía y costosa para las empresas, es crucial para asegurar la satisfacción del cliente. (Adarme Jaimes, 2014)

En particular, la última milla de la cadena de suministro de productos frutihortícolas frescos es un segmento complejo y desafiante. Se caracteriza por envíos de volumen pequeño y alta frecuencia, entregas en zonas urbanas congestionadas, requisitos de temperatura y humedad controladas, y una ventana de entrega limitada debido a la naturaleza perecedera de los productos. Estos desafíos pueden resultar en mermas, retrasos y clientes insatisfechos. (Orjuela-Castro, 2013)

Los principales desafíos logísticos en la última milla pueden enfocarse en los siguientes aspectos:

- Complejidad geográfica: la entrega de productos en la última milla puede implicar la navegación a través de áreas urbanas densamente pobladas, zonas rurales remotas y entornos geográficamente difíciles de alcanzar, lo que puede aumentar la complejidad logística y los costos asociados.
- Variabilidad en la demanda: La demanda de productos puede variar significativamente en diferentes momentos y ubicaciones, lo que dificulta la planificación y la gestión eficiente de las rutas de entrega y los niveles de inventario en la última milla.
- Tiempo de entrega: los clientes suelen tener expectativas cada vez mayores en cuanto a los tiempos de entrega, lo que aumenta la presión sobre las empresas para cumplir con plazos de entrega ajustados y ofrecer opciones de entrega rápida, como la entrega en el mismo día o en horas específicas.
- Costos operativos: los costos asociados con la última milla, incluidos los de transporte, mano de obra, tecnología y gestión de devoluciones, pueden ser significativamente más altos en comparación con otras etapas de la cadena de suministro, lo que puede afectar la rentabilidad de las operaciones.
- Sostenibilidad ambiental: la entrega en la última milla puede tener un impacto significativo en el medio ambiente debido a las emisiones de carbono asociadas con el transporte de mercancías. La reducción de la huella de carbono y la adopción de prácticas de entrega sostenibles son desafíos importantes en este sentido. (Ballou, 2004)

El objetivo del presente trabajo es realizar una revisión bibliográfica que permita obtener una comprensión profunda y completa de los diversos aspectos relacionados con la última milla en el sector de productos frescos frutihortícolas.

2. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para el presente estudio consistió en una revisión bibliográfica a través de un análisis bibliométrico en distintas bases de datos, que permitió realizar la presentación de una serie de indicadores tanto de calidad como de cantidad, para llegar a las conclusiones del estudio.

2.1. Indicadores Bibliométricos

Los indicadores bibliométricos proporcionan información sobre los resultados del proceso investigado, su volumen, evolución, visibilidad y estructura. Así permiten valorar la actividad científica, y la influencia o impacto tanto del trabajo como de las fuentes. (de Medeiros, 2015)

Según la literatura, los indicadores bibliométricos se pueden clasificar en dos grandes grupos: indicadores de actividad e indicadores de impacto. (Aleixandre-Benavent, 2019)

Por un lado, los indicadores de actividad científica permiten visualizar el estado real de la ciencia y dentro de ellos se encuentran:

- Número y distribución de publicaciones: miden el número total de publicaciones por instituciones y su distribución.
- Productividad: número de trabajos por autor, revista o institución.
- Dispersión de las publicaciones: análisis de las publicaciones sobre un tema o área entre las diversas fuentes de información. Permite descubrir núcleos de autores o revistas.
- Colaboración en las publicaciones: índice de firmas por trabajo, empleado para determinar la actividad y cooperación científica entre grupos de científicos o instituciones.

Por otro lado, los indicadores de impacto están orientados a valorar el impacto de autores, trabajos o revistas.

Según (Spinak, 2001) conviene subrayar que las técnicas bibliométricas son importantes porque:

- Identifican las tendencias y el crecimiento del conocimiento en las distintas disciplinas.
- Estiman la cobertura de las revistas secundarias.
- Identifican autores y tendencias en distintas disciplinas.
- Miden la utilidad de los servicios de diseminación selectiva de información.
- Predicen las tendencias de publicación.
- Identifican las revistas núcleo de cada disciplina.
- Formulan políticas de adquisición ajustadas al presupuesto.
- Adaptan políticas de descarte de publicaciones.
- Estudian la dispersión y la obsolescencia de la literatura científica.
- Diseñan procesos automáticos de indización, clasificación y confección de resúmenes.
- Predicen la productividad de editores, autores individuales, organizaciones, países.

Por otra parte, los indicadores bibliométricos presentan también un conjunto de limitaciones en su aplicación y utilización. Por ejemplo, sólo se pueden utilizar en aquellos contextos en que los resultados de investigación dan lugar a publicaciones científicas. Por este motivo, su validez es destacada en el estudio de las áreas básicas, pero de menor relevancia en áreas tecnológicas o aplicadas. (Velasco, 2012).

En otro sentido, es importante destacar que en la literatura aparecen otros tipos de indicadores bibliométricos, conocidos como: (1) de cantidad (miden la productividad), (2) de calidad (miden el impacto) y (3) estructurales (miden las conexiones). (Montoya Restrepo, 2016)

En este punto, se debe agregar que la existencia de varios indicadores para estos estudios se debe a que es recomendable hacer las mediciones bibliométricas a través de varios indicadores, en lugar de usar sólo uno.

Los indicadores de cantidad y calidad, definidos en la literatura como:

- Indicadores de cantidad: son los encargados de medir la productividad de un investigador, revista o institución en términos del número de publicaciones; por ello, los indicadores número de publicaciones y número de publicaciones en las mejores revistas del campo, son de gran uso en la literatura como indicadores de cantidad.
- Indicadores de calidad: son usados comúnmente porque están orientados a medir la frecuencia con que una publicación, un autor o una revista, son citados por otras publicaciones (número de citaciones). Estos indicadores pueden ser divididos entre el número de años que ha transcurrido desde que la publicación tuvo lugar, para obtener el número promedio de citaciones por año.

En la tabla 1 se muestran las bases que se utilizaron en el presente trabajo y las palabras claves utilizadas en cada una de ellas.

Tabla1: bases de búsqueda y palabras clave. Elaboración propia

	BASE	**PALABRAS CLAVE**
1	Carrot 2	*fresh fruits and vegetables supply chain*
2	Engineering Village	*last mile or logistic and fresh products and perishable products*
3	Dimensions	*last mile and logistic and fresh fruits vegetables*
4	Publish or Perish	*last mile and logistics and perishable products and fresh products*

3. RESULTADOS

En esta sección se muestran los hallazgos encontrados en las distintas bases de datos que se utilizaron. Debido a la falta de acceso institucional a la base de datos *Scopu*s en la Facultad de Ingeniería, UNMDP, se ha visto limitada la posibilidad de utilizar esta plataforma para la revisión y análisis de literatura académica en el presente estudio. *Scopus*, siendo una de las bases de datos más reconocidas a nivel internacional por su amplitud y rigor en la indexación de publicaciones científicas, hubiera permitido un análisis más exhaustivo y preciso. Sin embargo, la ausencia de esta herramienta nos ha obligado a recurrir a bases de datos alternativas, las cuales, aunque robustas, no ofrecen la misma cobertura y diversidad de fuentes que *Scopus*. Esta limitación ha influido en el alcance de la revisión bibliográfica, condicionando la representatividad y profundidad del análisis.

3.1. Primera búsqueda

Se utilizó Carrot2, un motor de búsqueda y agrupamiento de código abierto que organiza los hallazgos de una consulta en grupos significativos. Este software es especialmente valioso porque clasifica los resultados en categorías temáticas, lo que permite acceder a la información relevante de manera más rápida y eficiente al identificar temas y subtemas dentro de los datos obtenidos. Además, Carrot2 ofrece diferentes opciones para visualizar estos grupos, como diagramas de círculo, diagramas de árbol y listas de etiquetas, lo que facilita la interpretación de grandes volúmenes de información.

En la figura 1 se muestran los resultados para las palabras clave: *fresh fruits and vegetables supply chain*. Como puede observarse se obtuvieron 82 documentos agrupados en 28 *clúster*. Los *clústers* que más documentos tienen son: Performance de la Cadena de suministro y Pérdidas y desperdicios, ambos con 10 documentos.

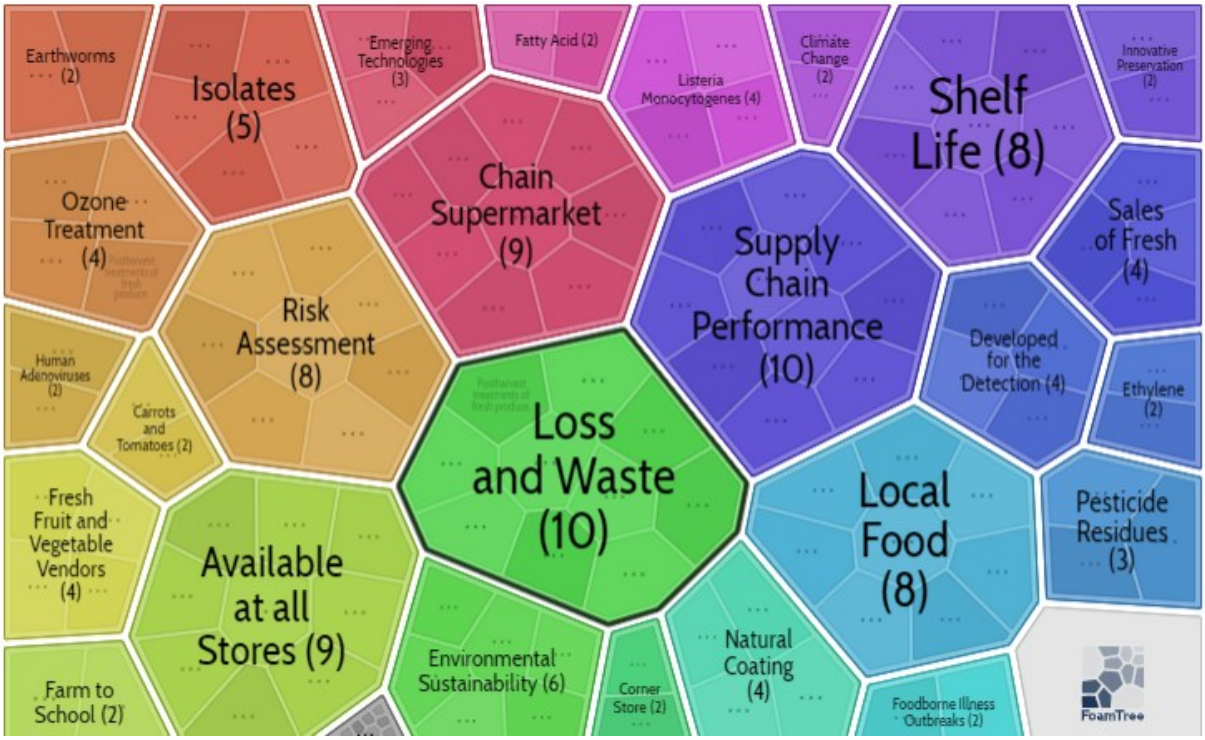


Figura 1: búsqueda en Carrot 2. Elaboración propia

Del *clúster* "Performance de la Cadena de Suministro" se destacan dos documentos:

> **1° Influence of supply chain risk management and its mediating role on supply chain performance: perspectives from an agri-fresh produce. Umair Waqas, Azmawani Abd Rahman, Normaz Wana Ismail, Norazlyn Kamal Basha, Sonia Umair. Ann Oper Res. 2023; 324(1-2):1399-1427. doi: 10.1007/s10479-022-04702-7. Epub 2022 May 5.**

El estudio analiza cómo la gestión de riesgos y del conocimiento influye en la cadena de suministro de pequeños agroempresarios de frutas y hortalizas en Malasia. Usando datos de 430 empresarios, se encontró que la gestión de riesgos reduce los impactos negativos y mejora el desempeño. Además, la gestión del conocimiento modera estas relaciones positivamente.

> **2° Sustainability assessment with structural equation modeling in fresh food supply chain management. Emel Yontar, Süleyman Ersöz Environ Sci Pollut Res Int. 2021 Aug; 28(29):39558-39575. doi: 10.1007/s11356-021-13478-5. Epub 2021 Mar 24.**

El estudio evalúa las dimensiones que afectan la sostenibilidad de la cadena de suministro de frutas y verduras frescas en Turquía, usando SEM (*structural equation modeling*) y AHP (*analytic hierarchy process*). Se midieron cinco dimensiones: gestión de la cadena de suministro, gestión de recursos, seguridad alimentaria, embalaje y gestión de residuos. Se calcularon 26 subcriterios y se determinó que la gestión de la cadena de suministro tiene el mayor desempeño que la gestión de residuos. La puntuación final de sostenibilidad fue de 79,96%. El estudio destaca la importancia de estos parámetros para lograr una alimentación más sostenible.

Del *clúster* "Pérdidas y desperdicios" se destacan:

> **Technological innovations enhance postharvest fresh food resilience from a supply chain perspective. Jinjin Huang 1 2, Min Zhang 1 3, Arun S Mujumdar 4, Yamei Ma 5. Review Crit Rev Food Sci Nutr . 2023 Jul 6:1-23. doi: 10.1080/10408398.2023.2232464.**

Los alimentos frescos son nutritivos pero estacionales, perecederos y difíciles de almacenar sin perder calidad. Las limitaciones en las tecnologías de conservación causan pérdidas en la cadena de suministro. Con el aumento de la conciencia sobre la salud, se investigan tecnologías inteligentes, eficientes y no destructivas. Esta revisión resume el cambio de calidad postcosecha de frutas, verduras, carnes y productos acuáticos, y analiza tecnologías emergentes como campos eléctricos, magnéticos, electromagnéticos, plasma, nanotecnología, envases en atmósfera modificada y recubrimientos

biológicos. Evalúa beneficios y desventajas, y sugiere mejorar la cadena de suministro de alimentos para reducir pérdidas y aumentar la resiliencia.

Los documentos hallados en el *clúster*: pérdidas y desperdicios se enfocan en aspectos tales como el poder de mercado y pérdida de alimentos en la interfaz productor-minorista; propuestas de soluciones de base biológica para reducir la pérdida y el desperdicio de frutas y verduras frescas; progresos en aplicaciones en el desarrollo de recubrimientos para envases de alimentos sostenibles y el monitoreo de parámetros ambientales en cadenas de suministro de frutas y verduras frescas mediante tecnología de comunicación y sensores habilitados por Internet de las cosas.

3.2. Segunda búsqueda.

Se realiza en *Engineering Village* es una base de datos ofrecida por Elsevier y se utilizan las siguientes palabras clave: *last mile or logistic and fresh products and perishable products*. Se obtienen 6212 documentos.

Para afinar la cantidad de documentos se filtra por años, tomando el período 2018-2024 y por documentos publicados en *Journals*. Esta búsqueda refinada arroja un resultado de 1422 documentos.

Como indicador de cantidad se presenta la figura 2 con las publicaciones sobre la temática en el periodo seleccionado. Se puede observar una clara tendencia creciente en el número de publicaciones.

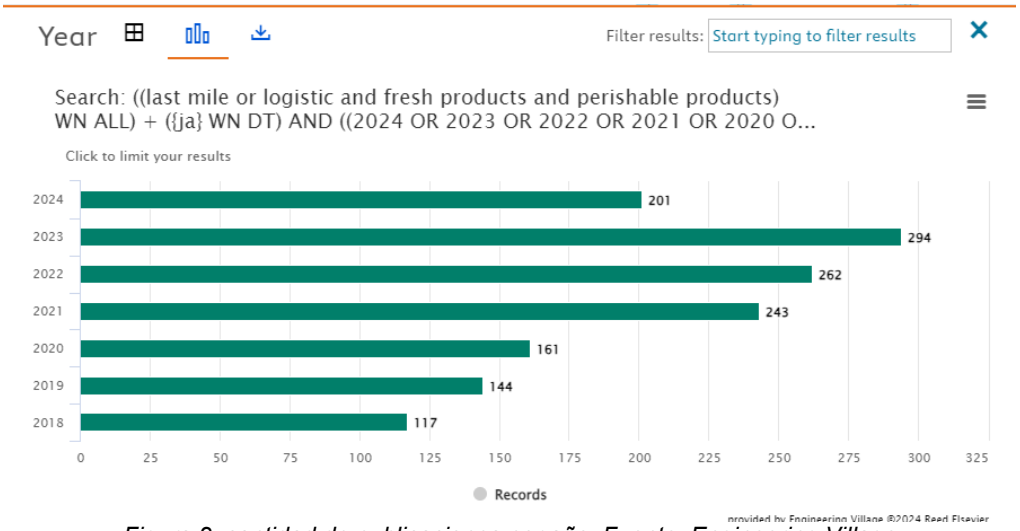


Figura 2: cantidad de publicaciones por año. Fuente: Engineering Village

Para obtener una búsqueda más concisa, se filtra por "*controlled vocabulary*", es decir, descriptores que la propia base destina para definir los contenidos de sus artículos. Se obtiene ahora 505 resultados que se muestran en la figura 3. Lo que se observa es que estos descriptores no coinciden con las palabras clave que originan la búsqueda por lo que los artículos encontrados no serían muy significativos para el estudio del tema propuesto, dado que el mayor número se enfoca en problemas de ruteo.

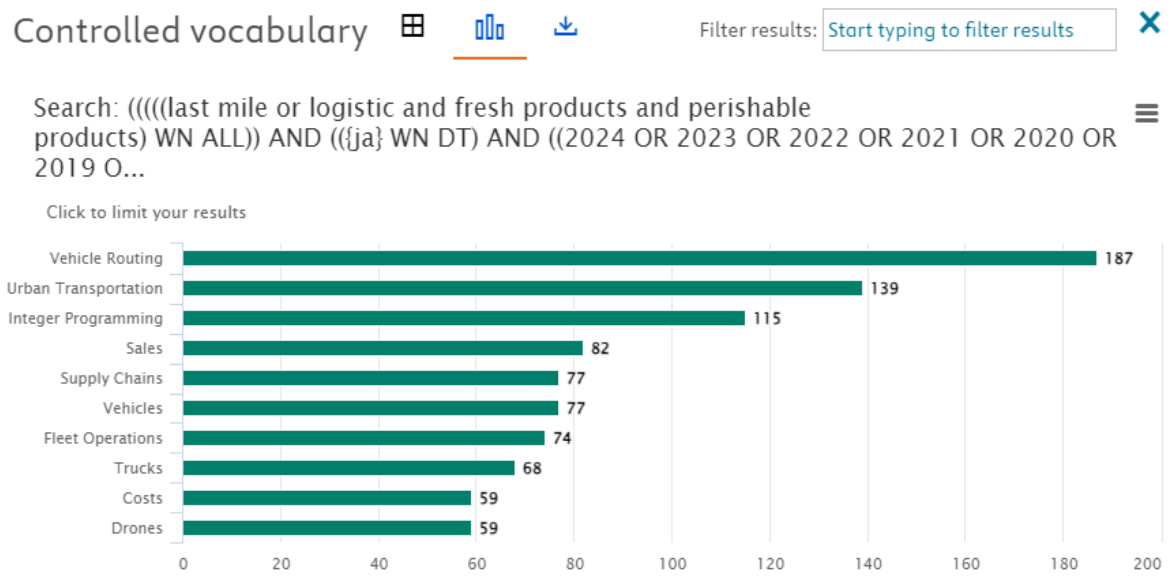


Figura 3: cantidad de publicaciones por descriptor. Fuente: Engineering Village

El ruteo en la logística de última milla es crucial para la eficiencia de las cadenas de suministro de productos frutihortícolas frescos. En este contexto se convierte en un factor determinante para asegurar que los productos lleguen a su destino en las mejores condiciones posibles. Los productos frescos, debido a su naturaleza perecedera, requieren una entrega rápida y eficiente para mantener su calidad y frescura. Un ruteo optimizado minimiza el tiempo de tránsito, lo cual es esencial para evitar el deterioro de frutas y verduras. (Galarcio, 2017).

Por otra parte, la eficiencia en el ruteo contribuye a reducir los costos operativos, ya que permite el uso óptimo de los recursos, como el combustible y el tiempo del personal. Por otra parte, los consumidores actuales demandan entregas rápidas y precisas, y cualquier retraso puede resultar en la recepción de productos en mal estado, afectando negativamente la experiencia del cliente y la reputación del proveedor. Además, un ruteo eficiente tiene un impacto positivo en el medio ambiente. Al optimizar las rutas de entrega, se reduce el consumo de combustible y las emisiones de carbono, contribuyendo a prácticas más sostenibles y responsables. (Gobertti, 2024)

De estos artículos se destacan los más recientes pero, aunque tratan el tema de última milla, son escasas las referencias a la cadena de productos frutihortícolas o productos frescos perecederos. Se citan 2 artículos a modo de ejemplo.

> **1° An exact method for a last-mile delivery routing problem with multiple deliverymen. Senna, Fernando (Industrial Engineering Department, Federal University of São Carlos, Brazil); Coelho, Leandro C.; Morabito, Reinaldo; Munari, Pedro Source: European Journal of Operational Research, v 317, n 2, p 550-562, September 1, 2024**

El estudio aborda la eficiencia en la entrega de última milla mediante vehículos con múltiples repartidores atendiendo a varios clientes en una sola parada. Se amplía el problema de rutas de vehículos con ventanas de tiempo, considerando rutas de repartidores. Se desarrolla un algoritmo de Benders para resolverlo, logrando optimización en el 89% de los casos, mejorando costos, congestión y emisiones. (Senna, Coelho, Morabito, & Munari, 2024)

> **2° Unravelling the last-mile conundrum: A comparative study of autonomous delivery robots, delivery bicycles, and light commercial vehicles in 14 varied European landscapes. Garus, Ada (European Commission - Joint Research Centre, Via E. Fermi, 2749 – 21027, VA, Ispra, Italy); Christidis, Panayotis; Mourtzouchou, Andromachi; Duboz, Louison; Ciuffo, Biagio Source: Sustainable Cities and Society, v 108, August 1, 2024**

Este estudio evalúa la eficiencia de modos de transporte en el comercio electrónico usando datos reales. Se analiza el rendimiento de vehículos comerciales ligeros, bicicletas de carga y robots de reparto autónomos mediante la API de Google y OR-Tools. Se concluye que los robots son eficientes en áreas de tráfico limitado y las bicicletas en centros urbanos densos. La investigación subraya la necesidad de adaptar el transporte a características urbanas específicas para mejorar la eficiencia y satisfacción del consumidor. (Garus, Christidis, Mourtzouchou, Duboz, & Ciuffo, 2024)

3.3. Tercera búsqueda

Dimensions es una plataforma de investigación y bases de datos que reúne información de diversas fuentes. Proporciona acceso no sólo a artículos científicos sino también a patentes, datos de investigación y ofrece herramientas para analizar tendencias y patrones en la investigación.

Se utilizaron las siguientes palabras clave: *supply chain last mile*. Se restringió la búsqueda a los años 2018 -2024 para tomar el período anterior y posterior a la pandemia de COVID 19. Se obtienen 5193 resultados.

Un primer análisis se realiza con *VOSviewer* que se muestra en la figura 4. Como la búsqueda es realmente muy abarcativa, en el análisis se eliminaron todos los términos relacionados a áreas de salud para que prevalecieran los enfocados en cadena de suministro y logística de productos agroindustriales y alimentos frescos.

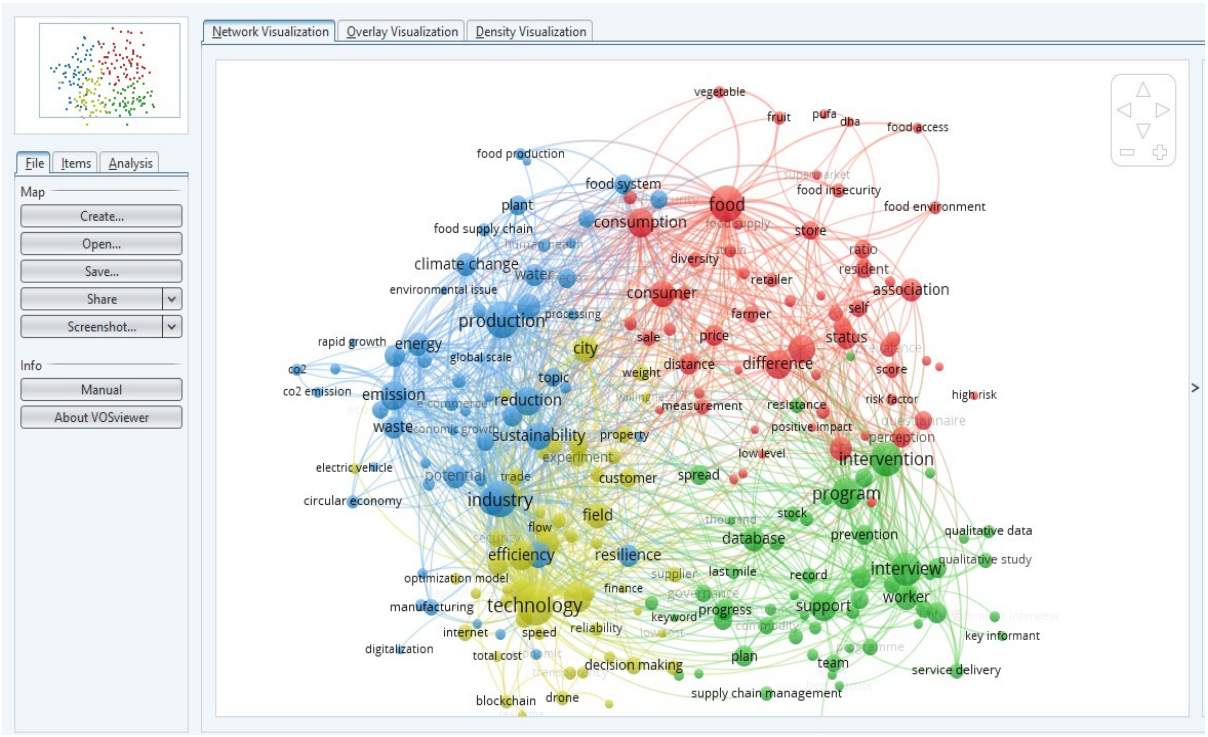


Figura 4: publicaciones Base Dimension. Fuente: VOSviewer

Para afinar la búsqueda se restringe la misma a al campo *"Horticultural Production*" manteniendo las palabras clave *supply chain y last mile*. De esta forma se obtienen 326 publicaciones.

Repitiendo la búsqueda en ese mismo campo de producción hortícola, pero sumando a las palabras clave los términos Logística y Alimentos Frescos se obtienen 81 publicaciones. En la figura 5 se muestran las publicaciones por año.

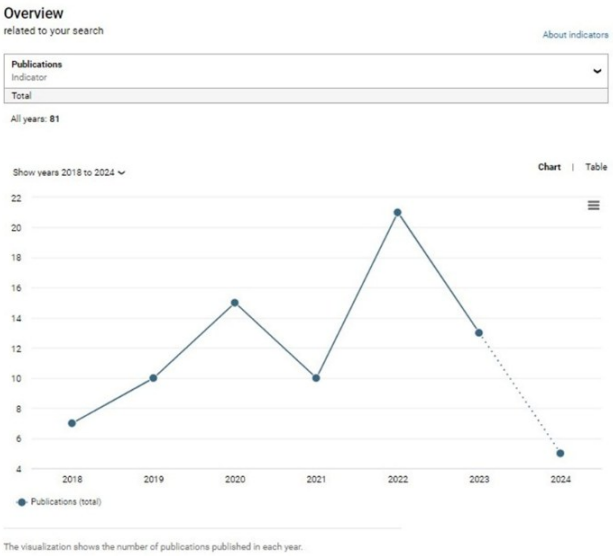


Figura 5: número de publicaciones por año para las palabras clave: supply chain-last mile- logistics- fresh food. Fuente: Dimensions

De acuerdo con la figura 5, el número de publicaciones fue creciente en los años 2018-2019-2020, muestra un descenso en 2021, vuelve a crecer en 2022 pero cayó nuevamente en 2023.

Por otra parte, si se realiza la misma búsqueda con iguales palabras claves sólo en *"Title and abstract"* no se obtiene ninguna publicación. Esto podría significar que los términos de búsqueda utilizados son demasiado específicos o restrictivos y también que el tema de investigación de la última milla para productos frescos o productos frutihortícolas es de estudio reciente, por lo que aún hay poca literatura disponible que lo aborde directamente en los títulos o resúmenes de las publicaciones.

3.4. Cuarta búsqueda. Se realiza en *ScienceDirect* que es una base de datos de Elsevier que proporciona acceso a textos completos, revisados por pares, de revistas científicas, capítulos de libros y otros contenidos.

En este caso las palabras clave son: *supply chains – fresh food –logistics*. El resultado de esta búsqueda arroja 80937 publicaciones. Haciendo una revisión de los títulos de las 100 primeras, ordenadas por orden de relevancia, so observa que en 84 de ellos aparecen las palabras *fresh food* y *supply chain.*

Para acotar el número de publicaciones se aplican los siguientes filtros de búsqueda:

- Por años: entre 2018 y 2024

  2024 (4,455)

  2023 (4,763)

  2022 (4,520)

  2021 (4,003)

  2020 (2,959)

  2019 (2,755)

  2018 (2,406)

- Por áreas temáticas (*Subject areas*)
  - *Agricultural and Biological Sciences (*15,865*)*
  - *Environmental Science (*9,734)
  - *Engineering* (2,308)
- Por título de la publicación *(publication title*)
  - *Science of The Total Environment* (1,251)

- *Journal of Cleaner Production* (1,197)
- *Food Chemistry* (1,143)
- *Food Control* (586)
- *Food Research Interna*tional (541)

Se obtienen de esta manera 4718 publicaciones para su análisis.

Se destaca en especial el artículo de los autores Miguel Peinado-Guerrero y Rene Villalobos que plantea el desarrollo de una plataforma de planificación de cadenas de suministro de respuesta rápida para frutas y verduras frescas por su relación directa con el tema de estudio del presente trabajo.

> ***Technology-enabled, Rapid-Response Fresh Food Supply Chains: A Paradigm and Case Study. Food Research International. Transportation Research Procedia.*** (2022) Miguel Peinado-Guerrero J. Rene Villalobos.

El artículo ofrece una descripción general de los diferentes componentes que conforman una visión del entorno integrado y presenta un estudio de caso que ilustra la formación de coaliciones de pequeños productores para capturar una oportunidad de mercado utilizando algunas de las herramientas de apoyo a la toma de decisiones de *Terra-fresh. Terra-fresh* significa Cadenas de Suministro Frescas de Respuesta Rápida y Basadas en Tecnología. Es un entorno integrado de planificación, análisis y coordinación que busca explotar las nuevas realidades tecnológicas de la cadena de suministro de productos agrícolas frescos. (Peinado-Guerrero & Villalobos, 2022)

> ***Integrating product-focused life cycle perspectives in the fresh food supply chain: Revealing intra- and inter-organizational views.Integrating product-focused life cycle perspectives in the fresh food supply chain: Revealing intra- and inter-organizational views. Sustainable Production and Consumption.*** (2024) Sara Toniolo. Ivan Russo. Ilenia Bravo.

Los productos alimenticios perecederos generan importantes residuos y consumen una gran cantidad de energía debido a los requisitos de mantenimiento de calidad y seguridad. El objetivo principal de este estudio es mostrar cómo cada actor en la cadena de suministro de alimentos frescos puede reducir su impacto ambiental utilizando una perspectiva del ciclo de vida. Las acciones se pueden traducir en tres dimensiones: tecnológica, relacionada con el uso de tecnologías eficientes y optimizadas; operativo, relacionado con la reducción de materia prima, consumo de materiales, configuraciones de distribución y mejora de cultivos y gestión, relacionados con seguimiento, objetivos de mejora y configuraciones de la cadena de suministro local. (Toniolo, Russo, & Bravo, 2022)

> ***What value does blockchain bring to the imported fresh food supply chain? . Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review September*** (2022). Shuai Liu Guowei HuaYadong Xu.

Durante la pandemia de COVID-19, *blockchain* se ha utilizado ampliamente para rastrear información sobre alimentos frescos desde el origen hasta el destino. Motivados por observaciones de la práctica del mundo real, el estudio aborda el papel que desempeñaba *blockchain* en las cadenas de suministro de alimentos frescos. Primero desarrolla los modelos básicos para examinar los casos sin y con *blockchain*. Luego, deriva las decisiones de precios óptimas para la cadena de suministro y las condiciones bajo las cuales el uso de *blockchai*n era rentable en cada modelo. Para evaluar la solidez de los resultados, analiza cómo las actitudes ante el riesgo afectaron las decisiones óptimas de la cadena de suministro. (Guowei & HuaYadong Xu, 2022)

> ***Sales mode selection of fresh food supply chain based on blockchain technology under different channel competition. Computers & Industrial Engineering December*** **(**2021). Yuhong Liu Deqing Ma Ziyi Zhang.

En la era de las nuevas tecnologías, las plataformas de comercio electrónico (E-platform) han ido abriendo sucesivamente el mercado de alimentos frescos, por lo que es inevitable que se enfrenten al problema de la selección del modo de venta. Este estudio considera la disponibilidad de trazabilidad habilitada por *blockchain* y la frescura del producto, con el objetivo de explorar si la plataforma

electrónica elige la reventa o la venta por agencia de alimentos frescos en competencia con diferentes minoristas tradicionales. (Deqing & Zhang., 2021)

> ***Microforecasting methods for fresh food supply chain management: A computational study. Mathematics and Computers in Simulation***. (2018). G. Dellino T. Laudadio C. Meloni.

El estudio aborda el problema de la previsión de ventas de productos frescos y altamente perecederos, en el contexto general de la gestión de la cadena de suministro. Se empleó un conjunto de datos reales basados en 19 tiendas pequeñas y medianas y 156 productos frescos para evaluar tanto la calidad de los resultados de la previsión como sus efectos en la actividad de planificación de pedidos, donde la previsión de ventas se considera como un indicador de la demanda esperada. Los datos se utilizaron como entrada para un algoritmo de pronóstico diseñado para ser interactivo con el usuario. Se implementan tres métodos de pronóstico: ARIMA, ARIMAX y modelos de función de transferencia. (Meloni., 2018)

Dado el gran número de publicaciones existentes en el tema *food logistis* y *supply chain*, se analizaron los perfiles de los diez investigadores de *Scholar Google* con mayor número de publicaciones en el tema. Se encuentra que tres de ellos desarrollan sus actividades de investigación en centros de Estados Unidos, uno en Colombia y los seis restantes en países de Europa. Los resultados se muestran en la figura 6.

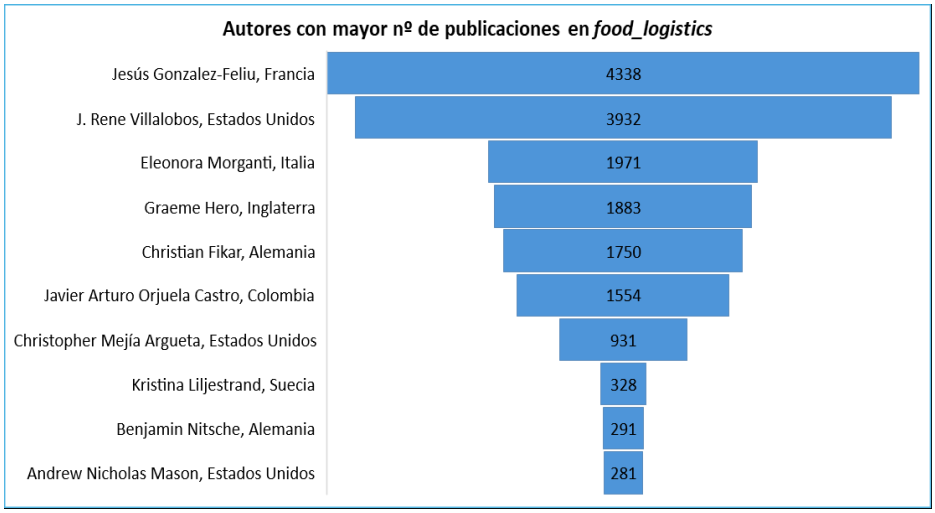


Figura 6: Número de publicaciones por autor y su país de procedencia. Fuente: Elaboración propia

Las publicaciones científicas en *food-logistics* son abarcativas de las investigaciones de la cadena de suministro de productos frescos frutihortícolas porque ambas comparten objetivos y desafíos clave. La logística alimentaria se centra en optimizar la eficiencia, reducir pérdidas y asegurar la calidad de los productos durante su transporte y almacenamiento, aspectos críticos también en la gestión de frutas y verduras frescas. Además, los productos frutihortícolas, al ser perecederos, requieren estrategias logísticas específicas que se desarrollan a través de investigaciones más generales en *food-logistics*. (Portugal, 2023)

Dada la escasez de publicaciones específicas sobre última milla de productos frescos frutihortícolas, la búsqueda en logística de alimentos permite acceder a publicaciones con conocimientos y soluciones innovadoras que podrían aplicarse a las particularidades de su cadena de suministro y logística.

4. CONCLUSIONES

La revisión de la literatura sobre la logística de última milla en la cadena de suministro de productos frescos frutihortícolas revela varias tendencias y desafíos clave. En primer lugar, la mayoría publicaciones provienen de países desarrollados, donde se investiga ampliamente el uso de tecnologías avanzadas y soluciones innovadoras. En contraste, hay una notable escasez de estudios centrados en las cadenas de suministro de Latinoamérica, lo que destaca una importante laguna en la literatura.

Los problemas de ruteo son especialmente complejos en megaciudades debido a la alta densidad de población, el tráfico congestionado y la diversidad de los entornos urbanos. Estas dificultades requieren soluciones sofisticadas para asegurar la entrega puntual y eficiente de productos perecederos. Además, se ha observado el desarrollo de múltiples opciones de transporte, como vehículos eléctricos, bicicletas de carga y drones, que se están explorando para mejorar la eficiencia de la última milla y reducir el impacto ambiental.

Las implicaciones prácticas de estos hallazgos sugieren que las empresas deben considerar la implementación de tecnologías avanzadas y diversificar sus modos de transporte para enfrentar los desafíos específicos de las megaciudades. Sin embargo, la falta de estudios en contextos latinoamericanos indica la necesidad urgente de investigaciones futuras que aborden las particularidades de esta región, incluyendo la infraestructura, las políticas y los comportamientos de los consumidores.

Adicionalmente, los modelos matemáticos de pronóstico juegan un papel crucial en la optimización de la cadena de suministro, permitiendo prever demandas y ajustar las operaciones en consecuencia. La tecnología *blockchai*n emerge como una solución prometedora para mejorar la transparencia y la trazabilidad a lo largo de la cadena de suministro, asegurando la autenticidad y la calidad de los productos frescos. No obstante, la generación de residuos y el consumo de energía son áreas críticas que requieren atención. Las estrategias para minimizar los residuos y optimizar el uso de energía deben ser integrales en los sistemas de logística de última milla para alcanzar una sostenibilidad real. La incorporación de estas tecnologías y enfoques sostenibles es esencial para enfrentar los desafíos actuales y futuros en la cadena de suministro de productos frutihortícolas frescos.

La falta de estudios en contextos latinoamericanos indica la necesidad urgente de investigaciones futuras que aborden las particularidades de esta región, incluyendo la infraestructura, las políticas y los comportamientos de los consumidores.

5. BIBLIOGRAFIA

Adarme Jaimes, W. A. (2014). Comportamientos logísticos en la distribución de última milla de productos alimenticios en Villavicencio, Colombia. *Revista EIA*, (21), 145-156.

Akkad, M. Z. (2022). Energy efficiency optimization of lastmile supply system with reverse logistics consideration. *Acta logistica*, 9(3): 315-323.

Aleixandre-Benavent, R. G.-T.-L. (2019). Análisis Bibliométrico de la Aplicación de Proyectos con PERT y CPM en la Agricultura. *Revista UTCiencia: i-ISSN: 1390-6909. e-ISSN: 2602-8263*, 6(3), 172-179.

Ballou, R. (2004). *Logística.* Mexico: Pearson Education.

de Medeiros, I. L. (2015). Revisão Sistemática e Bibliometria facilitadas por um Canvas para visualização de informação. *InfoDesign-Revista Brasileira de Design da Informação*, 12(1), 93-110.

Deqing, Y. L., & Zhang., M. Z. (2021). Sales mode selection of fresh food supply chain based on blockchain technology under different channel competition. *Computers & Industrial Engineering*.

Galarcio, J. D. (2017). Una nueva metaheurística aplicada al problema de ruteo de vehículos capacitados (cvrp) para la distribución de productos perecederos. *Ingeniería e Innovación, 5(1).*

Garus, A., Christidis, P., Mourtzouchou, A., Duboz, L., & Ciuffo, B. (2024). Unravelling the last-mile conundrum: A comparative study of autonomous delivery robots, delivery bicycles, and light commercial vehicles in 14 varied European landscapes. *Sustainable Cities and Society*, v 108.

Gobertti, F. H. (2024). Algoritmos de optimización para secuenciación adaptativa de rutas reales en entregas de última milla. Ingenius. . *Revista de Ciencia y Tecnología*, (31), 64-80.

Guowei, S. L., & HuaYadong Xu. (2022). What value does blockchain bring to the imported fresh food supply chain? *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*.

Meloni., G. D. (2018). Microforecasting methods for fresh food supply chain management: A computational study. *Mathematics and Computers in Simulation*.

Montoya Restrepo, I. V. (2016). Mapeo del campo de conocimiento en intenciones emprendedoras mediante el análisis de redes sociales de conocimiento. . *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 24(2), 337-350.

Orjuela-Castro, J. O.-C.-J. (2013). Logística de última milla en megaciudades para frutas perecederas. *Revista de Ingeniería y Gestión Industrial*, 12(2), 318-327.

Peinado-Guerrero, M. J., & Villalobos, R. (2022). Technology-enabled, Rapid-Response Fresh Food Supply Chains: A Paradigm and Case Study. *Food Research International. Transportation Research Procedia*.

Portugal, P. A. (2023). Diagnóstico de Indicadores Logísticos en Pymes de Distribución de Frutas y Hortalizas en Chiriquí, Panamá. *Revista Internacional de Gestión del Conocimiento y la Tecnología*, (2), 119-137.

Senna, F., Coelho, L. C., Morabito, R., & Munari, P. (2024). An exact method for a last-mile delivery routing problem with multiple deliverymen. *European Journal of Operational Research*, v 317, n 2, p 550-562.

Spinak, E. (2001). Indicadores cienciométricos. *Acimed*, 9, 16-18.

Toniolo, S., Russo, I., & Bravo, l. (2022). Integrating product-focused life cycle perspectives in the fresh food supply chain: Revealing intra- and inter-organizational views. *Sustainable Production and Consumption*.

Velasco, B. B. (2012). La utilización de los indicadores bibliométricos para evaluar la actividad investigadora. *Aula abierta*, 40(2), 75-84.

"Modelo de Reducción de Costos Ocultos de la Mala Calidad por Técnica de Contraste de Costos Variables - Abordaje para el Ámbito Manufactura del Sector PyME-"

Noguera, Luciana; Cavacini, Antonella Soledad; Sacco, Alfonso Víctor

Facultad de Ingeniería, Universidad del Salvador
l.noguera@usal.edu.ar; antonella.cavacini@usal.edu.ar alsacco@usal.edu.ar;

RESUMEN

En el sector de las Pequeñas y Medianas Empresas (PyME) existe una constante búsqueda de técnicas tendientes a mejorar el desempeño y la competitividad con la intención de atraer clientes, comprendiendo que para ello se deben reducir fallas, defectos y desvíos.

Sin embargo, tanto las herramientas de Gestión de la Calidad como las técnicas para reducir los Costos de No Calidad son poco utilizadas, y los programas de mejora decaen antes de alcanzar su madurez, debido en parte a la falta de claridad de qué medir, qué mejorar y cómo hacerlo.

Se evidencia que existe un problema subestimado que lo identificamos como Costos Ocultos, por el cual se consideran aceptables ciertos resultados que deben ser optimizados, generando ineficiencias en los procesos productivos, lo que se refleja en un superfluo empleo de recursos. Por ello, se propone definir y formular una herramienta que permita visualizar y medir esta clase de Costos de la Mala Calidad, que suelen pasar inadvertidos dentro de los Costos Variables de Producción.

El presente trabajo incorporará un esquema de contraste de Costos Variables, considerando Costos Históricos, Planificados y Resultantes, basados en el Consumo Estándar Unitario de los recursos empleados en los procesos productivos.

Se analizará la literatura que trata al respecto, determinando su aplicabilidad a la realidad de las PyMEs en Argentina, y propondrá una herramienta de simple aplicación que facilite la medición y el control de los Costos Ocultos con el objeto de reducir su cuantía, o de llegar a anularlos, cuando sea posible.

Palabras Claves: COPQ (Costo de la Mala Calidad) - HCQ (Costo Oculto de la Calidad) - PyME (Pequeña y Mediana Empresa) - CI (Mejora Continua) - Costos Variables.

ABSTRACT

In the SME sector there is a constant search for techniques aimed at improving performance and competitiveness with the intention of attracting customers, understanding that to do so, failures, defects and deviations must be reduced.

However, both Quality Management tools and techniques to reduce Non-Quality Costs are little used, and improvement programs decline before reaching maturity, due in part to the lack of clarity of what to measure, what improve and how to do it.

It is evident that there is an underestimated problem that we identify as Hidden Costs, for which certain results that must be optimized are considered acceptable, generating inefficiencies in production processes, which is reflected in a superfluous use of resources. Therefore, it is proposed to define and formulate a tool that allows visualizing and measuring this type of Costs of Poor Quality, which usually go unnoticed within the Variable Production Costs.

The work will incorporate a contrast scheme of Variable Costs, considering Historical, Planned and Resulting Costs, based on the Standard Unitary Consumption of the resources used in the production processes.

The presentation will analyze the literature on this matter, determine its applicability to the SME reality in Argentina, and propose a simple application tool that facilitates the measurement and control of Hidden Costs with the aim of reducing their amount, or even canceling them, when it is possible.

Keywords: COPQ (Cost of Poor Quality) - HCQ (Hidden Cost of Quality) - SMEs (Small and Medium Enterprises) - CI (Continuous Improvement) - Variable Costs.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación de la Investigación

La industria manufacturera en Argentina está marcada por la presencia dominante de Pequeñas y Medianas Empresas (PyMEs), las cuales desempeñan un papel crucial en la economía del país. Estas PyMEs representan un porcentaje significativo del sector empresarial argentino, ya que constituyen el 98% del total de las firmas empleadoras, alcanzando alrededor del 50% de los asalariados registrados (Anatilde Salerno , 2023). Es fundamental reconocer su valor e importancia, ya que su actividad impacta directamente en la vida cotidiana de las personas, la estabilidad y el crecimiento económico del país.

Sin embargo, las PyMEs manufactureras se enfrentan a desafíos considerables, especialmente en lo que respecta a la competitividad y la rentabilidad. Uno de los retos más destacados radica en la calidad de los productos que se ofrecen y en sus costos asociados. En un mercado cada vez más exigente y competitivo, la calidad se convierte en un diferenciador clave para las empresas, tanto en términos de satisfacción del cliente como de rentabilidad.

Dentro del contexto de este sector de empresas, existe un problema latente y muchas veces subestimado: los costos ocultos de la mala calidad. Estos costos, que suelen pasar desapercibidos, se derivan de ineficiencias en los procesos de producción resultando de un empleo vano y excesivo de recursos, como los son la materia prima, la mano de obra directa, los insumos, la energía, y los gastos indirectos de fabricación, entre otros.

Es esencial identificar y cuantificar estos costos ocultos para implementar medidas correctivas y mejorar la eficiencia operativa de las PyMEs. En este sentido, surge la necesidad de desarrollar una metodología de simple implementación que permita, primero identificar esos costos ocultos, para luego poder medirlos.

La investigación se concentrará en medir las fluctuaciones de los Costos Variables de producción y en establecer parámetros de control para poder aproximarlos a costos más eficientes, que denominaremos Costos Estándares como objetivo de Mejora Continua (CI) a lograr. Esta metodología será adaptada al contexto de la PyME, donde los recursos son limitados y la simplicidad es clave para su aplicación efectiva.

1.2 Objetivo de la investigación

El presente trabajo se enfoca en el estudio de una categoría específica de Costos Ocultos de la Mala Calidad (COPQ), los cuales surgen como consecuencia de ineficiencias en el empleo de los recursos productivos y en inestables procesos de manufactura. Con frecuencia estos malgastos se aprecian relacionados con el sobre consumo de medios e insumos productivos, tales como materia prima, mano de obra directa, energía; o con interrupciones en la producción, sobrantes de inventario, transporte con capacidad subutilizada, manipulación innecesaria, entre otros. Debido a su naturaleza incierta, es esencial exponer y cuantificar estos gastos para posteriormente implementar un plan de acción dirigido a su optimización.

El objetivo principal de nuestra investigación será estudiar cómo visibilizar y reducir estos costos que impactan directamente en la supervivencia del negocio, mediante la identificación de desviaciones y la distinción entre resultados satisfactorios y aquellos que deben ser mejorados. Este enfoque busca incrementar el valor percibido por el cliente y mejorar la competitividad de las PyMEs en la industria manufacturera argentina.

En función de investigaciones anteriores que han sido llevadas a cabo por nuestro Equipo de Trabajo, se ha verificado que los Costos Ocultos más relevantes pueden ser apreciados sobre el Costo Unitario resultante que conlleva la puesta en venta de cada artículo producido. Lo que resulta de dividir los Costos Totales incurridos entre la cantidad resultante producida.

Este Costo Unitario, se compone de Costos Fijos y Costos Variables, nuestra investigación se enfocará específicamente sobre el análisis de estos últimos, que son aquellos costos que cambian en proporción directa con el nivel de producción o la cantidad de bienes producidos. Es decir, que la concentración se pondrá sobre la parte del Coste que se replica en forma cuasi constante sobre cada unidad producida.

En este sentido se ha previsto emplear la técnica de Contraste de Costos Variables, que facilitará una clara identificación de los Costos Ocultos para luego poder actuar sobre ellos. Se establecerá una metodología de base sólida para la implementación de estrategias de mejora, que se fundará en la

medición y comparación de los costos resultantes o actuales con los costos más eficientes y posibles de ser alcanzados, los que necesitan previamente ser calculados, establecidos y adoptados.

Mediante la adopción de este enfoque proactivo para identificar primero y reducir luego, este tipo particular de Costos de la Mala Calidad (COPQ), se espera contribuir al crecimiento y la sostenibilidad de las PyMEs en la industria manufacturera argentina.

1.3 Metodología

Para desarrollar el Modelo, se propone utilizar la metodología de investigación-acción. Esta metodología combina la producción de conocimiento con la implementación de cambios intencionales en una realidad específica.

Se adopta el proceso de investigación-acción (Diana Paravié, 2020) como un enfoque participativo en el que el equipo de investigación trabajó de manera colaborativa con los miembros de la organización objetivo para abordar problemas y desarrollar soluciones prácticas.

El método se basa en un ciclo de aprendizaje continuo que incluye la reflexión crítica, siendo clave para entender los desafíos y oportunidades dentro del contexto organizacional y para guiar las acciones futuras, facilitando el cambio y la mejora continua

En síntesis, la metodología incluye la siguiente secuencia recurrente de pasos: diagnóstico, recolección de información, análisis de datos, planeamiento, implementación de acciones, evaluación y mantenimiento o monitoreo.

1.4 Justificación del Estudio

1.4.1 Importancia del sector PyME en Argentina

El sector PyME desempeña un rol fundamental en el desarrollo y crecimiento de la economía argentina. Su importancia parte de varios aspectos fundamentales que impulsan no sólo el crecimiento económico, sino también el desarrollo social y regional del país.

En primer lugar, son responsables de una gran parte de la creación de empleo y a su vez contribuyen significativamente a la innovación y competitividad en el mercado. Su flexibilidad y adaptabilidad les permiten introducir nuevos productos y servicios, lo que fomenta la competencia y la actualización constante de procesos tecnológicos. Esta innovación es vital para el progreso económico y la creación de productos de alto valor añadido.

Por otra parte, las PyMEs promueven el desarrollo de las economías regionales, ya que están presentes en todos los sectores productivos, incluyendo la industria manufacturera, la distribución y los servicios. La importancia económica y social de las PyMEs justifica la realización de estudios que profundicen en el conocimiento de estas empresas y en su gestión (Gatti, 2009).

Las PyMEs no solo contribuyen a la economía nacional al generar empleo y promover la innovación, sino que también facilitan patrones de funcionamiento más inclusivos y equitativos a nivel social y regional. Es entonces que por su relevancia requiere una mayor atención de todas las partes interesadas como las agencias gubernamentales y las empresas multinacionales, para maximizar su potencial y su impacto positivo en la sociedad.

1.4.2 Industria Manufacturera

La industria manufacturera se dedica a la transformación de materias primas en productos elaborados o semielaborados mediante procesos que pueden ser manuales, mecanizados o automatizados, utilizando habilidades y tecnologías desarrolladas en el pasado y adoptadas por los individuos a lo largo del tiempo.

Las empresas manufactureras han existido desde los siglos XVI y XVII, cuando la actividad fabril se centraba en pocos productos y se realizaba de forma manual. Con los descubrimientos y avances de la Revolución Industrial, se comenzaron a utilizar máquinas especializadas, lo que permitió la evolución de pequeños talleres artesanales en verdaderas fábricas concentradas de productos, tecnologías y procesos específicos, conformando lo que conocemos como el desarrollo del sector industrial.

En la actualidad, las empresas manufactureras tienden a ubicarse cerca de los consumidores de sus productos para abaratar los costos de distribución. Asimismo, suelen estar cerca de las fuentes de mano de obra, lo que les permite minimizar los costos de producción. Estas estrategias de ubicación y operación son fundamentales para la eficiencia y competitividad de estas organizaciones.

Estudiaremos puntualmente la participación de las PyMEs en la industria manufacturera, evaluando cómo optimizan sus procesos y gestionan sus recursos para mejorar su rentabilidad y sostenibilidad en el mercado argentino.

1.4.3 Evolución de la Contabilidad de Costos y su Importancia en la Gestión Empresarial

Desde la revolución industrial, diversos procesos se han automatizado, inicialmente impulsados por la introducción de máquinas de vapor y telares textiles. Estos avances transformaron talleres artesanales y pequeñas empresas en industrias más complejas y productivas.

El crecimiento de las fábricas, junto con los avances tecnológicos y la diversidad de productos y servicios, impulsó la necesidad de contabilizar los costos de producción. Esta práctica se volvió crucial para demostrar la rentabilidad de las operaciones frente a los dueños y accionistas. Además, conocer el patrimonio actual de la empresa permitía tomar decisiones informadas sobre la incorporación de nuevos activos o el pago de pasivos existentes.

En este contexto, surge la contabilidad de costos, aplicable a cualquier tipo de industria, que se funda en la formulación de procedimientos claros para la gestión de información y la generación de informes de balances y de estados de resultados. Estos informes permiten analizar las pérdidas y ganancias netas, y transmitir esta información a los inversores de manera precisa.

En un mercado en constante cambio, la gestión de costos se convierte en la base para una estrategia de sostenibilidad de las PyMEs. Mediante el registro y análisis de los costos, las empresas pueden identificar los procesos que generan mayores gastos sin agregar valor al producto. Esto facilita la optimización de los recursos invertidos, orientando las inversiones hacia la generación de rentabilidad.

La gestión eficiente de costos no solo contribuye a la sostenibilidad y el crecimiento de las PyMEs, sino que también fortalece su competitividad en el mercado. Al identificar y reducir costos innecesarios, las empresas pueden mejorar su eficiencia operativa y ofrecer productos de mayor calidad a precios competitivos, lo que es esencial para su éxito a largo plazo.

2. DESARROLLO

2.1 Hipótesis Adoptadas

En el contexto de las PyMEs en Argentina se han observado ciertos desafíos recurrentes que impiden la implementación y el éxito sostenido de programas de Mejora Continua (CI) basados en herramientas de gestión de calidad. Estas dificultades suelen estar asociadas a varios factores:

- Expectativas de Resultados Inmediatos: La tendencia a esperar resultados rápidos, puede llevar a la frustración y, en muchos casos, provoca el abandono prematuro de los programas de mejora.
- Complejidad Metodológica: Existe una percepción generalizada de que las metodologías de mejora continua son complejas y difíciles de aplicar, lo que disuade a las empresas de adoptarlas, especialmente en organizaciones de gran estructura.
- Falta de Enfoque y Sostenibilidad: La falta de un plan claro y sostenido para la mejora continua, incluyendo cómo, dónde y qué medir, conduce a esfuerzos dispersos y a menudo ineficaces.
- Cultura Organizacional Resistente: En muchas PyMEs prevalece una cultura que minimiza o normaliza el impacto de los costos ocultos de la mala calidad (COPQ), lo que se verifica como resistencia al cambio, siendo típica la frase "*siempre lo hicimos así*...". Por lo que se dificulta la adopción de medidas para reducirlos o eliminarlos.
- Identificación Incompleta de Costos Ocultos: La falta de visibilidad y de identificación precisa de los costos ocultos (HQC) impide que se tomen acciones correctivas efectivas.

Se observó que numerosas PyMEs en Argentina presentan una escasa adopción de herramientas de gestión de calidad, enfocándose en una gestión reactiva que pone mayor énfasis en resolver problemas inmediatos en lugar de estrategias de mejora continua, lo que limita su crecimiento y competitividad.

Se infiere que las fallas en la implementación o el abandono prematuro de programas de Mejora Continua (CI) se deben principalmente a la falta de un esquema adecuado de medición de los beneficios y a la ausencia de un plan claro que permita visualizar los avances logrados. Además, se aprecia una virtual desconexión entre las iniciativas de mejora que se llevan a cabo y los objetivos estratégicos de la empresa, lo cual contribuye a la percepción de cierta ineficiencia en el empleo de los recursos productivos.

Para contrarrestar estas limitaciones y fomentar la adopción de herramientas de Mejora Continua (CI), se sugiere la adopción de un marco metodológico que contemple las siguientes iniciativas:

- Implementación Gradual y Estratégica de Programas de CI: Un enfoque secuencial permite introducir cambios de manera progresiva facilitando la adaptación y evitando expectativas irreales. Además, la planificación en fases y alineación con objetivos estratégicos garantiza resultados tangibles.
- Definición de Metas Específicas y Medibles: Establecer objetivos claros permite monitorear el progreso de manera efectiva, facilita la identificación de áreas de mejora y promueve el compromiso del equipo al mostrar avances concretos.
- Medición de Variables Clave: Utilizar Indicadores Clave de Desempeño (KPIs) y tableros de control para monitorear y ajustar estrategias basadas en datos en tiempo real.
- Identificación de Costos Ocultos (HQC) mediante el contraste de Costos Variables: Desarrollar y aplicar un modelo de contraste de costos variables que se focalice en el consumo especifico de recursos durante el proceso productivo. Comparando el Consumo Estándar Unitario (CEU) con el Consumo Resultante Unitario (CRU) se podrán detectar, ineficiencias que estén contribuyendo a los costos ocultos y por ende implementar estrategias correctivas para optimizar el empleo de los recursos productivos.

2.2 Abordaje Conceptual

La administración eficaz de una empresa implica, entre otros procesos, la planificación estratégica de sus operaciones para alcanzar los objetivos establecidos ya sea en términos de utilidades deseadas o niveles de ventas a alcanzar. Estos objetivos están estrechamente relacionados con la optimización de los recursos utilizados en la producción de los artículos ofrecidos.

En este contexto, es fundamental reconocer que menores costos se traducen en mayores ventas y utilidades, mientras que costos más altos pueden impactar negativamente en la rentabilidad. Por lo tanto, el objetivo global de todos los empleados de la empresa debe ser producir con la mejor calidad posible y con la mínima utilización de recursos.

En este sentido, se deben identificar dos aspectos clave que requieren gestión para obtener una ventaja competitiva a través de sus resultados. Ellos son los Costos de la Calidad con su impacto en la cualidad y características del producto; y los Costos Variables por su impacto en competitividad y facilidad de obtención. Estos aspectos no solo afectan la rentabilidad de la empresa, sino también su capacidad para satisfacer a los clientes y ganar mercados.

2.3 Costos de la Calidad

Los costos de la calidad son una medida de los costos asociados con el logro o no del resultado requerido de una actividad, entendiendo que estos costos pueden verse desde dos perspectivas principales: la economía de la calidad del producto final y la economía de la conformidad con los estándares establecidos.

Una alta calidad en los procedimientos, procesos, materiales de entrada, recursos humanos y gestión conlleva a una disminución de los costos generales. En este sentido, la calidad debe ser intrínseca desde el principio, es decir, "*hacerlo bien a la primera*" promoviendo la prevención de problemas y la maximización del valor percibido por el cliente (Crosby, 1979).

Así el costo de calidad se puede dividir en dos aspectos diferenciados: a) el costo de buena calidad ó el costo de conformidad, y b) el costo de mala calidad ó el costo de no conformidad (Figura 1 “Categorías de Costo de Calidad”).

2.3.1 Costos de Buena Calidad

Dentro de estos costos se incluyen todos los gastos relacionados con alcanzar, mantener y mejorar la calidad de los productos (Elif Ocakci, 2021). Se subdividen en dos tipos:

- **Costos de Evaluación:** Comprenden los gastos de pruebas (incluyendo costos de equipos de inspección y prueba, y operadores), medición y análisis de materiales, productos y componentes para asegurar que se cumplan las especificaciones y estándares de calidad.
- **Costos de Prevención:** Incluyen todos los costos asociados con la implementación de medidas preventivas para evitar defectos en cualquier proceso o producto. Estos gastos abarcan la planificación de la calidad, el diseño del producto, la capacitación, así como la recuperación y gestión de información.

2.3.2 Costos de Mala Calidad

Estos se relacionan con los costos derivados de no cumplir con los estándares de calidad y pueden ser internos o externos:

- **Costos de Fallas Internas:** Ocurren antes de la entrega o envío del producto y abarcan el desperdicio, retrabajo, análisis de fallas, re-inspección, pruebas y pérdidas de producción evitables.
- **Costos de Fallas Externas:** Se producen después de la entrega y durante o después de la prestación del servicio al cliente, e incluyen garantías, gestión de reclamos de clientes y devoluciones de productos o asignaciones.

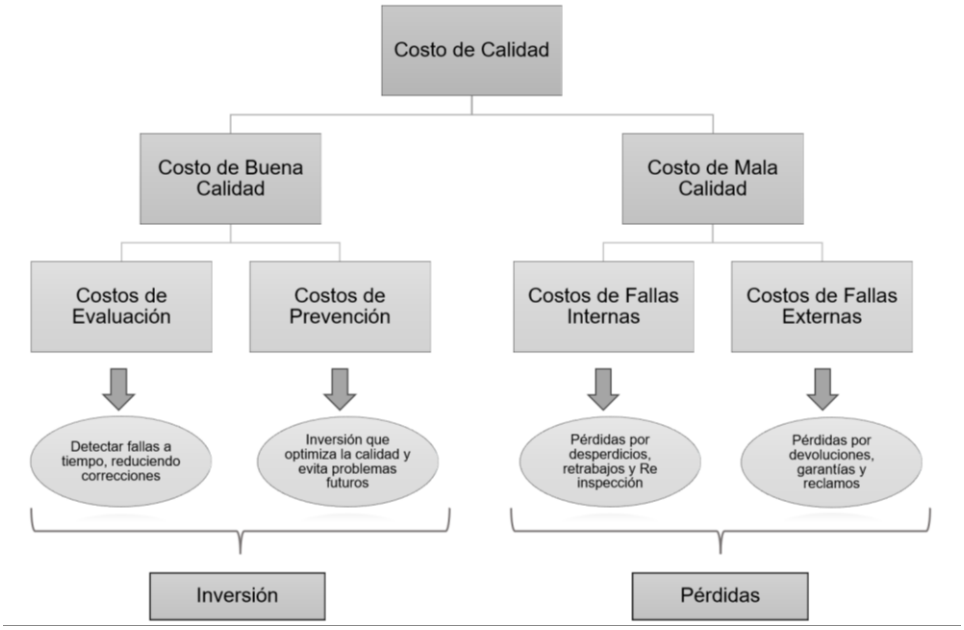


Figura 1 Categorías de Costo de Calidad

Invertir en costos de prevención y evaluación mejora significativamente la calidad de los productos y servicios (Shank, 1994). Al aumentar estos costos, se reducen los costos asociados a fallas internas y externas, lo que resulta en un equilibrio óptimo en la gestión de calidad. Esta perspectiva estratégica muestra que un gasto adecuado en la prevención de defectos y en la evaluación de la calidad no solo minimiza los errores y los productos defectuosos, sino que también optimiza el rendimiento económico al evitar gastos innecesarios derivados de correcciones y reclamos.

2.4 Costos Variables

Los Costos Variables (CV) son aquella categoría de costos que varían en función del nivel de producción, y vienen dados por la cantidad de mano de obra (MO) empleada, la materia prima (MP) utilizada y los gastos indirectos de fabricación asociados. A diferencia de los costos fijos, que permanecen constantes independientemente del volumen de producción, los costos variables fluctúan en proporción al nivel de actividad de la empresa o del proceso productivo.

Estos Costos Variables están compuestos por dos aspectos principales (Sacco, López, & Cavacini, 2023):

- **Precio de la Unidad de Medida del Recurso/Insumo:** Este componente se refiere al costo unitario de la materia prima, la mano de obra directa u otros recursos adquiridos para la producción. Por ejemplo, en el caso de la materia prima, este costo se establece en función de la unidad de medida con la que se administra y se compra el material, como kilogramo, litro, tonelada, entre otros. Para la mano de obra directa, el precio unitario puede determinarse según el costo horario del trabajador, considerando todas las contribuciones que correspondan. La gestión de estos costos está influenciada por circunstancias externas a la organización y por el poder de negociación del ente para acceder a los recursos necesarios a precios competitivos.
- **Consumo Específico de Recurso/Insumo:** Este componente se refiere a la cantidad específica de la unidad de medida (como kilogramos, metros, horas) que se requiere para producir un artículo. Por ejemplo, en el caso de la materia prima, el consumo específico se define como la cantidad de unidades de medida necesarias por artículo producido (por ejemplo, kilogramos de material por

unidad de producto). Para la mano de obra directa, el consumo específico se refiere al tiempo requerido para producir un artículo (por ejemplo, horas por unidad de producto).

2.5 Confluencia de Costos

Tanto los Costos de la Calidad, que afectan a la cualidad de desempeño del producto, como los Costos Variables, que afectan a la economía de obtención del producto, son fundamentales para el estímulo y sostenibilidad del negocio, ya que la confluencia de ambos Costos permite maximizar el Valor Percibido por los clientes, medido en términos de satisfacción lograda y costo monetario resultante. Cuando el Valor Percibido supera el precio pagado resultará en Satisfacción/Agrado que indica asignación de valor positivo a la transacción, resultando que se ha logrado lo mejor para el cliente y por ende lo mejor para la empresa también.

La falta de calidad en un producto puede generar costos adicionales tanto para los productores como para los clientes, y estos costos pueden ser significativos como para ignorarlos, especialmente en mercados competitivos. Medir el costo de calidad en términos monetarios permite a una organización evaluar el uso de sus recursos para mitigar los efectos adversos de sus procesos deficientes. Esta información puede ayudar a una organización a identificar los ahorros potenciales que se pueden generar mediante la mejora de sus procesos.

Por lo tanto, la medición y gestión de ambos costos resulta es una herramienta útil y valiosa para mejorar el resultado de los procesos, con su enfoque en la satisfacción del cliente, atendiendo tanto a la prestación del producto como a la economía para su obtención.

2.6 Contabilidad de Costos

La contabilidad de costos es una técnica utilizada para analizar las actividades internas de una organización mediante procedimientos específicos, proporcionando información detallada sobre los recursos empleados. Esta técnica permite registrar las transacciones internas relacionadas directamente con las operaciones del área de producción. Su función principal es recopilar y contabilizar información sobre las operaciones de transformación de insumos en bienes o servicios, facilitando así una gestión precisa y eficiente de los costos asociados (Casanova-Villalba, Macias-Loor, Proaño-González, & Ruiz-López, 2023) (Chacón, 2007) y (Mishell, 2016).

2.7 Desarrollo del Modelo de Reducción de Costos Ocultos

2.7.1 Orígenes de los Costos Ocultos

La identificación y clasificación de los Costos Ocultos de la Mala Calidad es fundamental para entender su impacto en el ámbito PyME manufacturero. En general, se observa que se asumen como normales ciertos resultados, simplemente por la dificultad que entraña la cabal identificación de los Costos Ocultos asociados. Por lo cual, estos desempeños son considerados aceptables, ya sea porque han sido normalizados ó porque responden a la consigna "*siempre lo hemos hecho así y no ha habido inconvenientes*".

A continuación, se describen en forma no taxativa las principales causas que originan estos tipos de Costos Ocultos discriminados por actividades / procesos típicos en una industria de manufactura:

- **Proceso de Recepción y Almacenamiento de Materia Prima (AL)**

- Calidad Deficiente de Materiales: Cuando los proveedores entregan materiales que no cumplen con las especificaciones requeridas, se generan costos adicionales por rechazos, devoluciones o retrabajos. Este problema no solo afecta la calidad del producto final, sino también la eficiencia del proceso productivo.
- Errores en Cantidades: Pedidos incorrectos o faltantes de materiales pueden desorganizar la planificación de la producción, resultando en tiempos de inactividad y aumento de los costos operativos.
- Costos de Proveedores No Confiables: Seleccionar proveedores con problemas de calidad o cumplimiento puede incrementar los costos de inspección y control, así como afectar la programación de producción debido a entregas tardías.
- Recepción Defectuosa: Materiales dañados o mal etiquetados al ser recibidos generan costos adicionales para su manejo y posible reposición.
- Condiciones de Almacenamiento Inadecuadas: Almacenar materiales en condiciones inapropiadas (humedad, temperatura) puede deteriorar su calidad, llevando a desperdicios y pérdidas.
- Errores en el Registro de Inventarios: Inexactitudes en los registros de inventarios provocan discrepancias y faltantes que pueden interrumpir la producción y generar costos adicionales de auditoría y corrección.

- Daños durante el Transporte Interno: Los materiales pueden sufrir daños durante su traslado dentro de la planta, lo que implica costos adicionales de manejo y posibles retrabajos.
- Retrasos en el Transporte Interno: Interrupciones en el flujo de producción debido a tiempos de espera prolongados afectan la eficiencia y productividad de la planta.

- **Proceso de Fabricación (FA)**
- Fallas en el Proceso de Producción: Los defectos en la producción generan desperdicio y retrabajo, implicando costos adicionales de mano de obra, materiales y tiempo de máquina.
- Equipos Mal Calibrados: La producción de productos fuera de especificación debido a problemas con los equipos requiere retrabajos y ajustes, generando costos adicionales.
- Capacitación Inadecuada del Personal: Errores y defectos causados por personal no capacitado adecuadamente aumentan los costos de producción y afectan la calidad del producto final.
- Problemas de Mantenimiento: Fallas en los equipos no programadas provocan interrupciones y costos adicionales de reparación y mantenimiento.
- Consumo Ineficiente de Mano de Obra y Suministros: Procesos ineficientes conducen a un uso excesivo de recursos, aumentando los costos operativos.
- Desperdicio de Material: Materiales que no se pueden reutilizar debido a defectos de producción representan una pérdida directa para la empresa.

- **Proceso Manipuleo y Almacenamiento de Producto Terminado (PT)**
- Daños durante el Transporte al Almacén de Producto Terminado: Productos dañados durante el traslado interno resultan en costos adicionales de manejo y posible retrabajo.
- Errores en la Documentación: Problemas de trazabilidad y errores en la identificación de productos terminados (etiquetado) generan costos adicionales de corrección y manejo.
- Deterioro del Producto: La pérdida de calidad del producto debido a condiciones de almacenamiento inadecuadas lleva a desperdicio y posibles devoluciones.
- Obsolescencia: Productos que pierden valor o utilidad por almacenamiento prolongado representan una pérdida directa para la empresa.
- Exceso de Inventario: Mantener grandes cantidades de inventario genera costos adicionales de almacenamiento y financiamiento.

- **Proceso de Transporte, Distribución y Ventas (TV)**
- Daños durante el Transporte: Productos dañados durante el transporte a almacenes o clientes resultan en costos adicionales de manejo y posibles devoluciones.
- Retrasos en la Entrega: Retrasos en la entrega afectan negativamente la satisfacción del cliente y pueden llevar a penalizaciones contractuales.
- Errores en el Pedido: Envíos incorrectos o incompletos generan costos adicionales de manejo y posibles pérdidas de ventas.

2.7.2 Análisis de relevancia de los Costos Ocultos

De acuerdo con su comportamiento vinculado con el nivel de actividad, los costos se clasifican en Fijos y Variables, mientras los primeros disminuyen en la asignación unitaria a cada artículo producido, los segundos permanecen constantes para cada nuevo artículo elaborado. Es decir, que independientemente del nivel de actividad, dentro de un rango determinado, el impacto de los Costos Variables en el Costo Unitario de cada artículo marginal se mantiene constante.

De lo anterior, se infiere que la principal fuente causante de Costos Ocultos está relacionada con la gestión de los Costos Variables. Todas las fallas, errores, defectos, deficiencias, pérdidas, daños, desperdicios, retrabajos, etc. tienen su impacto en el incremento del Costo Variable Unitario de Producción. Si no se toma conciencia y se actúa en consecuencia, estos costos no sólo permanecerán ocultos es su valor, sino que tenderán a aumentar con el tiempo, restando mayor competitividad al negocio.

El Costo Variable Unitario (CVU) de Producción puede entenderse tanto desde una perspectiva contable, con su resultado expresado en términos monetarios, como desde un punto de vista más operativo, que lo considera como la sumatoria del Consumo Específico de Recurso Variable (que interviene en el proceso de elaboración / producción de cada artículo puesto en venta) expresado en su Unidad de Medida (UM) de adquisición, elaboración y/o administración (kilogramos, metros cuadrados, horas máquina, horas hombre, metros lineales, litros, unidades, etc.).

Por ejemplo, para el caso de Materia Prima (MP), se define como la cantidad necesaria para producir y colocar a la venta cada artículo producido; para el Caso de Mano de Obra Directa (MOD) se define como el tiempo requerido para lograr tal cometido. Lo vital no resulta ser tanto la cantidad de MP

empleada efectivamente en cada artículo puesto a la venta, sino la relación existente entre el total de MP que ha sido consumida y la cantidad de artículos puestos en condición de venta.

Un artículo puede contener una determinada cantidad medida de MP, cumpliendo con la especificación; sin embargo, el verdadero interés del productor debería centrarse en encontrar respuesta a la pregunta: ¿Cuánta MP total se ha consumido para producir ese artículo? (considerando en un periodo de tiempo la variación total de inventario y la cantidad total de artículos colocados a la venta). Aquí es donde radica el secreto para alcanzar la competitividad mediante la eficiencia productiva y la reducción de costos.

En la Figura 2 “Control Cruzado de Inventarios para Establecer Consumos Resultantes” se aprecia un esquema representativo de las actividades donde se originan costos ocultos, los que deben ser identificados y medidos por discrepancia de inventarios empleando técnicas de controles cruzados entre periodos de tiempo, donde se hacen cierres de inventario de cada actividad y se verifican los consumos reales o resultantes de cada recurso de productivo.

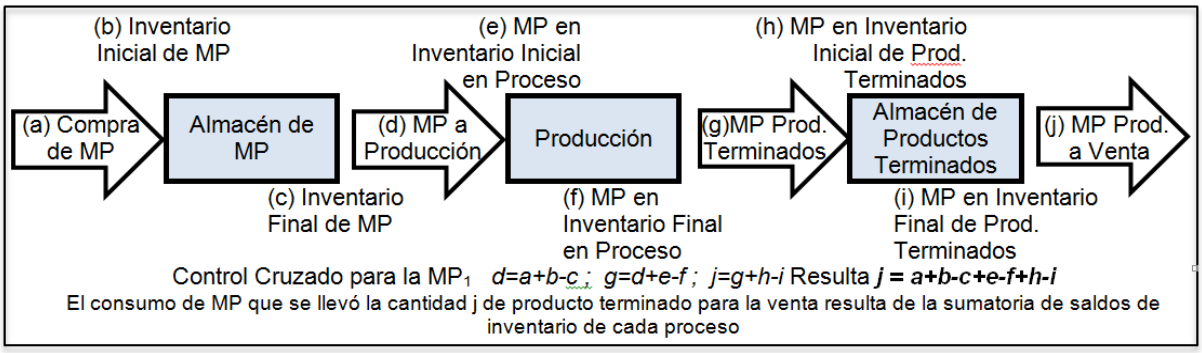


Figura 2 Control Cruzado de Inventarios para Establecer Consumos Resultantes

Los consumos unitarios específicos de recursos están ligados directamente con la eficiencia de los procesos productivos, para controlarlos se hace necesario identificarlos, medirlos y contrastarlos convenientemente en base a la obtención del denominado Consumo Estándar Unitario (CEU).

La determinación del CEU se fundamenta en la aplicación de estudios metodológicos y precisos de métodos, tiempos y estado del arte, generando mediciones rigurosas, pero al mismo tiempo posibles de alcanzar a un ritmo de actividad normal. Estas buscan mejorar la eficiencia y el desempeño, tanto en lo relacionado con los empleos de la MOD y de la MP, como en lo que hace al tratamiento de los Costos Variables correspondientes a Gastos Indirectos de Fabricación (energía, repuestos, insumos, mantenimiento, mano de obra indirecta de producción, etc.).

Establecer el costo estándar y reducir las deficiencias en el área de producción de la empresa implica la participación de los operarios mejor capacitados, y con la mayor experiencia y conocimiento tanto de los procesos de producción y las diferentes operaciones que en ellos se involucran, como del manejo de los materiales, la distribución física de las instalaciones, el mantenimiento de la maquinaria y equipos, la capacitación y adiestramiento, entre otros aspectos.

Para cada una de las actividades que se desarrollan en la empresa se deberá cuestionar cómo y cuándo se hacen, quiénes las deben realizar, dónde, con qué y por qué es necesario llevar a cabo estas acciones. Luego se deben considerar las opciones disponibles, técnica y económicamente, para adoptar aquella que optimice los consumos y mejore el desempeño.

Una vez obtenido los CEU, que será el horizonte establecido de mejora y optimización a alcanzar, se deberán medir los resultados que se están alcanzando mediante la aplicación de la denominada Técnica de Contraste de Costos Variables que consiste en cotejar los Consumos Resultantes Unitarios (CRU) con el del Estándar objetivo establecido para cada recurso productivo.

2.7.3 Modelo de Desagregación y Medición de Costos Ocultos

Una vez identificados los orígenes de los costos ocultos de la mala calidad, y establecido el Consumo Estándar Unitario (CEU) para cada recurso productivo, se puede medir el Consumo Resultante Unitario (CRU) al final del proceso productivo. El contraste entre el CEU y CRU permite identificar desvíos en el uso de recursos, pero no revela las causas subyacentes. Para ello, se introduce el Coeficiente Admitido de Desempeño (CAD), que mide la eficiencia en cada etapa del proceso, cuantificando las mermas aceptables y orientando las acciones correctivas.

La Figura 3 muestra una representación de las actividades que fueron desagregadas previamente en el apartado de orígenes de los costos ocultos. Esta tabla incluye los CADs para la Materia Prima x (MPx) correspondientes a cada actividad o instancia del proceso, proporcionando una visión detallada de cómo los diferentes factores afectan el desempeño de los recursos empleados en el proceso.

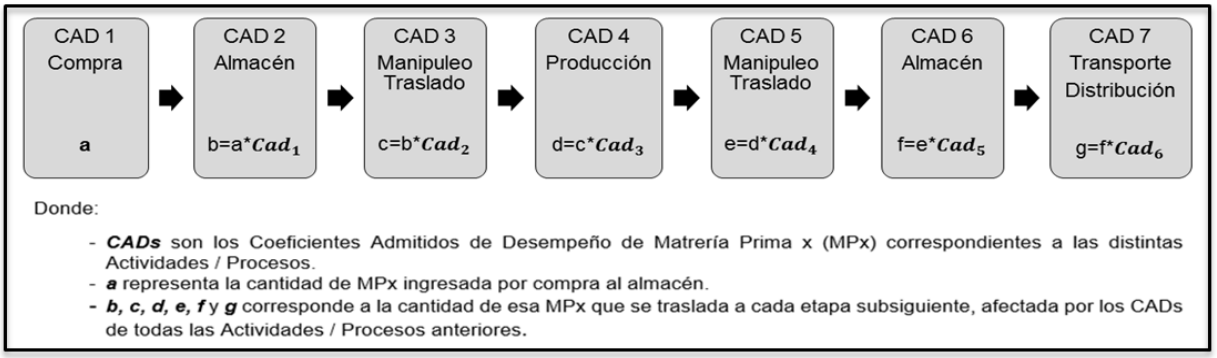


Figura 3 Aplicación de Coeficiente Admitido de Desempeño para detectar causas de Ineficiencias para la MPx

Del cuadro se desprende, que por ejemplo la cantidad "d" de MPx que ingresa efectivamente a producción, está afectada por las mermas admitidas que se encuentran asociadas a actividades previas como la Compra (Cad 1), Almacenamiento (Cad 2) y Manipuleo y Traslado (Cad 3). Este comportamiento se refleja según la Ecuación (1):

$$d = c * Cad3 = b * Cad2 * Cad3 = a * Cad1 * Cad2 * Cad3 \quad (1)$$

Si tomamos una condición inusual, donde los CADs de los procesos anteriores al de Producción no admiten merma de ningún tipo, es decir, tienen un valor de 1, entonces el 100% del material ingresado por Compra debería llegar intacto a la etapa de Producción.

Sin embargo, en condiciones reales, debe admitirse la aceptación de mermas relacionadas a los distintos procesos. Si consideramos una degradación del 0,1% en el proceso de almacenamiento (sin mermas admitidas para la Compra y el Manipuleo/Traslado), el CAD correspondiente sería de 0,99. Esto implica que la relación entre la cantidad proveniente del Proceso de Compra de MP1 y lo efectivamente disponible para el Proceso siguiente de Fabricación se encuentre representado por la Ecuación (2):

$$MP1producción = MP1almacén * CAD\ 99{,}9\% \quad (2)$$

Dónde:

- $MP1_{Producción}$ es la cantidad de MP tipo 1 que pasa al proceso de Fabricación.
- $MP1_{Almacen}$ es la cantidad de esa MP que entró oportunamente al Almacén.
- $CAD_{99,9\ \%}$ es el Coeficiente Admitido de Desempeño calculado para la MP1 que es del 99,9%, es decir, que se admite un 0,1% de merma / derroche.

Teniendo definidos los Coeficientes de Desempeño de cada Recurso Variable para cada Etapa del Proceso de Producción, simplemente luego habrá que contrastarlos con los rendimientos resultantes mediante el empleo de indicadores de gestión.

Es decir, que una vez establecidos los Consumos Estándar mediante los Coeficientes de Desempeño Admitidos (CADs), e identificados los orígenes de lo que hemos llamado Costos Ocultos de la Mala Calidad, es esencial poder establecer las estrategias necesarias para encarar la reducción de los mismos, adoptando e implementado la citada metodología en un formato ágil y de simple aplicación.

Para analizar críticamente las pérdidas más significativas en los consumos de recursos de producción, es esencial utilizar herramientas que faciliten la toma de decisiones basadas en datos concretos, para ello concentraremos los esfuerzos definiendo los Factores Clave de Éxito (CSF) mediante la aplicación del principio de Pareto, que establece que el 80% de la consecuencias proviene del 20 % de la causas. En nuestro caso podríamos emularlo, entendiendo que el 80% de la magnitud de los Costos Ocultos proviene de un 20 % de las causas generales que los generan.

Una vez identificados los CSF, se podrá establecer la forma de medirlos mediante la instrumentación de los denominados Indicadores Clave de Desempeño ó KPI, los que permitirán conocer las métricas más significativas del desempeño general del negocio.

Todo ello otorgará evidencia a la Gerencia y le asistirá en el proceso de toma de decisiones para optimizar procesos productivos, reducir el consumo específico de recursos productivos, minimizar pérdidas y alinear la operación con los estándares establecidos.

2.8 Caso de Estudio Fábrica de Alfajores - Aplicación del Modelo de Costos Ocultos

2.8.1 Presentación y Planteo de Caso

En el contexto de la industria alimentaria en Argentina, las PyMEs dedicadas a la elaboración de productos de consumo masivo como los alfajores, enfrentan desafíos en la gestión de materias primas y procesos productivos, combinando alta demanda con la necesidad de mantener la calidad y controlar los costos en un entorno competitivo.

Este estudio se enfoca en una PyME que produce un lote diario de 1 millón de alfajores, en la cual se analizan los costos ocultos que impactan en la rentabilidad, pero no son evidentes en los estados financieros. Por lo tanto, se trabajó en la desagregación y medición de tales costos, considerando variables críticas como la gestión eficiente de materias primas, la minimización de desperdicios y el control en las etapas clave del proceso.

Se verificó la aplicación del Modelo de análisis del Consumo Estándar Unitario (CEU) y el Consumo Resultante Unitario (CRU), junto con el Coeficiente Admitido de Desempeño (CAD), cuantificándose las mermas en cada fase del proceso y su impacto en los costos resultantes.

2.8.2 Implementación del Modelo

En la aplicación del Modelo se consideró las Materias Primas principales como harina, azúcar, huevos, manteca, maicena, dulce de leche y chocolate para cobertura. Sin embargo, a efectos de promover la síntesis para este Trabajo se selecciona la harina como recurso específico para ejemplificar el análisis. Con lo cual se podrá ilustrar la aplicación de los CADs y la identificación de Costos Ocultos en la producción de alfajores, sin extenderse a todos los insumos involucrados.

Para la citada producción diaria de 1 millón de alfajores, se estima necesario un total teórico de 20.000 kg de harina a un costo de 1.000 $/kg. Las Etapas del Proceso Analizadas (ver cálculos en Tabla 1) son: Etapa 1 “Recepción y Almacenamiento de Materias Primas”, Etapa 2 “Fabricación de Alfajores”, y Etapa 3 Empaque, Manipuleo y Almacenamiento de Producto Terminado.

ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3	CONSUMOS / COSTOS
CAD_{Etapa1}= 1 No admite ningún tipo de merma	**CAD_{Etapa2}= 0,99** En condiciones normales de operación se admite una pérdida del 1%)	**CAD_{Etapa3}= 0,985** En condiciones normales de operación se admite una pérdida del 1,5%	**Estándar** 20.000 kg x CAD_{Etapa1} x CAD_{Etapa2} x CAD_{Etapa3} 20.000 kg. x 1,0 x 0,99 x 0.985 = **20.510 kg**. Costo Total Previsto: 20.510 kg. x 1.000 $/kg = **$ 20.510.000**
Merma identificada 1% de la harina se pierde en esta etapa debido a factores como deterioro, embalajes rotos, manipulación deficiente, humedad y condiciones inadecuadas de almacenamiento, etc.	Merma identificada 2% adicional se pierde durante la fabricación debido a fallas en la dosificación, mala operación del personal, mezcladoras mal calibradas y tiempos o temperaturas inadecuadas de horneado, etc.	Merma identificada 3 % adicional se pierde debido a fallas de máquinas empaquetadoras, errores en el manipuleo (golpes o caídas), almacenamiento a temperaturas inadecuadas y errores en el etiquetado, etc..	**Resultante** 20.000 kg x $Merma_{Etapa1}$ x $Merma_{Etapa2}$ x $Merma_{Etapa3}$ 20.000 kg. x 0,99 x 0.98 x 0,97 = **21.252 kg.** Costo total Resultante: 21.252 kg. x 1.000 $/kg = **$ 21.252.000**
Costos Ocultos de la Mala Calidad identificados mediante el Modelo de Contraste de Consumos entre el Estándar y el Resultante			**Derroches / Ineficiencias** Consumo Estándar 21.252 kg – Consumo Resultante 20.510 kg = **742 kg**. Costo de la Mala Calidad: 742 kg. x 1.000 $/kg = **$ 742.000**

Tabla 1 Cálculo de Desempeño Caso Fábrica de Alfajores para la Materia Prima Harina

2.8.3 Resultado de la Aplicación del Modelo al Caso Fábrica de Alfajores

Los Costos Ocultos derivados de mermas y desperdicios pueden representar una porción significativa de los Costos Variables, impactando negativamente en la rentabilidad de la empresa. En este Caso se consume un 3,6 % en exceso de harina, resultando en un Costo Oculto diario de $ 742.000, que

mediante la Metodología de Contraste de Costos Variables ahora se encuentra visibilizado pudiéndose actuar sobre ello para lograr su reducción y eventualmente su eliminación..

La implementación del Modelo permitió a la empresa identificar puntos críticos en su proceso productivo, al focalizarse en un insumo específico como la harina, se ilustra cómo las pérdidas en una sola Materia Prima puede tener repercusiones financieras importantes, subrayando la necesidad de gestionar de manera efectiva cada recurso en la cadena de producción.

3. CONCLUSIONES

La gestión eficiente de los Costos Ocultos de la Mala Calidad (COPQ) es un factor decisivo para el desempeño y la sostenibilidad de las PyMEs en Argentina, especialmente en contextos de alta competencia y presión económica. A través de este trabajo, se buscó diseñar y validar un Modelo de Contraste entre el Consumo Estándar Unitario (CEU) y el Consumo Resultante Unitario (CRU), basado en el Coeficiente Admitido de Desempeño (CAD), que no sólo permite identificar y cuantificar los costos ocultos, sino también establecer un camino claro para emprender la mejora continua.

El modelo propuesto no se limita a una aplicación específica, sino que puede adaptarse a distintos procesos productivos y sectores industriales, lo cual representa su mayor potencial. La implementación de este enfoque proporciona a las organizaciones una herramienta concreta para la toma de decisiones informadas, contribuyendo a una mejor gestión de recursos y a la optimización de la cadena de valor. Además, la simplicidad del modelo lo hace particularmente adecuado para las PyMEs que operan con recursos limitados, de forma tal que pueden aplicarlo sin requerir de grandes inversiones.

Este análisis pretende servir como punto de partida para futuros estudios e implementaciones que busquen profundizar en la medición y reducción de los COPQ, fomentando una cultura de mejora continua. Con una correcta adopción de este modelo, las PyMEs pueden fortalecer su competitividad, mejorar su rentabilidad y asegurar una mayor estabilidad en el mercado, incluso en contextos adversos como platea la situación actual.

4. REFERENCIAS

Anatilde Salerno . (2023). Evolución de las PyMEs en Argentina y su Impacto en el Empleo. Buenos Aires: https://ucema.edu.ar/pymes.

Casanova-Villalba, C. I., Macias-Loor, J. M., Proaño-González, E. A., & Ruiz-López, S. E. (2023). Cost accounting and its impacts on SME profitability. Journal of Economic and Social Sciense Research, 14

Chacón, G. (2007). La Contabilidad de Costos, los Sistemas de Control de Gestión y la Rentabilidad Empresarial. Merida: Universidad de los Andes.

Crosby, P. B. (1979). Quality is Free - The Art of Making Quality Certain. New York: McGraw-Hill Book Company.

Diana Paravié, L. S. (2020). Diseño de un Tablero de Control en una PyME Industrial Aplicando la Metodología de Investigación-Acción. Iberoamerican Journal of Indurstrial Engineering, 15.

Elif Ocakci, J. N. (2021). Quality Cost and Economic Analysis. A Synthesis in the Manufacturing Systems. EDP Sciences.

Gatti, S. (2009). La importancia de la calidad y su relación en el desempeño de las PyMEs Industriales de la Argentina. Universidad Nacional de San Martín.

Mishell, M. G. (2016). Costos de producción y su efecto en la rentabilidad de la empresa procesadora de el Oro Promaoro S.A. Machala: Universidad Técnica de Machala.

Sacco, A. V., López, A. M., & Cavacini, A. S. (2023). Modelo para Visualizar Costos Ocultos de la Mala Calidad en Procesos de Mejora Continua en el Ámbito de Manufactura del Sector PyME . XVI COINI 2023.

Shank, J. a. (1994). Measuring the cost of quality: A strategic cost management. Journal of Cost Management.

"PROPUESTA DE SISTEMA DE MEJORA CONTINUA EN UNA EMPRESA DEL RUBRO TEXTIL"

Cirillo, María Agustina; Artigas, María Velia; Migueles, Marina

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata
aguscirillo13@gmail.com; mvartigas@hotmail.com; marinaamigueles@gmail.com

RESUMEN

El presente trabajo forma parte de un Proyecto Final de la carrera de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata. El mismo tiene como objetivo proponer la implementación de un sistema de mejora continua en una empresa de fibras textiles dedicada a la producción de artículos para el hogar, situada en Batán, provincia de Buenos Aires. Para ello, se inició con un relevamiento exhaustivo de los diferentes modelos de evaluación del nivel de madurez en mejora continua disponibles en la literatura especializada. Posteriormente, se desarrolló una herramienta integradora basada en el modelo de autodiagnóstico de mejora continua propuesto por Formento y el modelo evolutivo de comportamiento de mejora continua elaborado por Bessant, con el propósito de realizar un análisis integral de la empresa. La metodología para el análisis mencionado se realizó mediante entrevistas con personal clave, observación directa y revisión de documentación. Adicionalmente, se evaluó a determinados colaboradores de la organización para identificar cuáles era los actores clave necesarios para formar equipos de mejora. Los resultados del estudio revelaron que la empresa textil se encuentra en un nivel de pre-mejora donde no hay un enfoque estructurado ni formal, las iniciativas de mejora son esporádicas y no sostenibles. No obstante, el diagnóstico permitió identificar fortalezas y debilidades, lo que facilitó la definición de los lineamientos a seguir y su estructuración en un plan de acción.

Palabras Claves: Mejora continua, sistema de mejora continua, nivel de madurez, cultura organizacional, empresa textil.

ABSTRACT

The present work is part of a Final Project for the Industrial Engineering degree at the Faculty of Engineering of the National University of Mar del Plata. Its objective is to propose the implementation of a continuous improvement system in a textile fiber company dedicated to the production of household items, located in Batán, Buenos Aires province. To achieve this, an exhaustive survey of the different models for assessing the maturity level in continuous improvement available in the specialized literature was carried out. Subsequently, an integrative tool was developed based on the continuous improvement self-diagnosis model proposed by Formento and the evolutionary model of continuous improvement behavior developed by Bessant, with the purpose of conducting a comprehensive analysis of the company. The methodology for the aforementioned analysis was conducted through interviews with key personnel, direct observation, and document review. Additionally, certain collaborators within the organization were evaluated to identify the key players necessary to form improvement teams. The study results revealed that the textile company is at a pre-improvement level, where there is no structured or formal approach, and improvement initiatives are sporadic and unsustainable. However, the diagnosis allowed for the identification of strengths and weaknesses, facilitating the definition of guidelines to follow and their structuring into an action plan.

Keywords: Continuous improvement, continuous improvement system, maturity level, organizational culture, textile company.

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. Descripción de la empresa y problemática a tratar.

En un entorno progresivamente desafiante, resulta de vital importancia para las organizaciones enfocar sus esfuerzos en seleccionar las estrategias más adecuadas para mantenerse competitivas. En este contexto comienzan a tomar relevancia aspectos como el mejoramiento de la calidad, la búsqueda de la satisfacción del cliente, la reducción de costos y el aumento de la eficiencia operativa. Para alcanzar estos objetivos, el medio que emerge de manera cada vez más predominante es la mejora continua.

El presente trabajo forma parte de un Proyecto Final de la carrera de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata y aborda como temática principal el desarrollo de un sistema de mejora continua en una empresa del sector textil con más de 50 años de historia ubicada en la localidad de Batán. A fin de mantener la confidencialidad de la organización, de aquí en adelante se emplean las siglas M.T.S. como nombre ficticio. Si bien en la actualidad la organización aplica un Sistema de Gestión de la Calidad (SGC) bajo el modelo de la norma ISO 9001:2015, luego del paso de tres generaciones, M.T.S. se encuentra atravesando una transición hacia mejores prácticas empresariales en donde el objetivo de aplicar la mejora continua comienza a contemplarse. La llegada de nuevos profesionales a nivel jefatura y gerencia trajo consigo la implementación de metodologías como las 5S y la búsqueda de la mejora de los procesos, motivadas por su experiencia en otras empresas que aplican actualmente la mejora continua. Por lo tanto, el diseño de un plan de acción para lograr una implementación exitosa y sostenible resultaría de gran utilidad.

El objetivo general del trabajo consiste en diseñar y proponer un sistema de mejora continua en una empresa del rubro textil. Para ello, se definen como objetivos específicos el relevamiento y análisis de diferentes modelos de evolución de mejora continua presentes en el estado del arte; la elaboración de un diagnóstico del grado de madurez de la organización respecto a la mejora continua; la identificación de los lineamientos necesarios para el desarrollo de un sistema de mejora continua adecuados a la empresa; el análisis de los recursos humanos disponibles en la empresa para generar un plan de capacitación para la formación de equipos de mejora continua y el diseño del sistema de mejora continua.

2. METODOLOGÍA.

El presente proyecto se aborda bajo una metodología de trabajo que consta de tres etapas desarrolladas entre los meses de marzo y noviembre de 2023. La primer etapa comienza con la revisión de la literatura existente sobre la mejora continua para tomar conocimiento de la temática a tratar. Luego se efectúa el diagnóstico y la descripción de la situación actual de la empresa en estudio. En esta instancia, se desarrolla el análisis general de la organización para lo cual se emplea información obtenida a partir del desempeño como pasante de la misma y se analizan documentos facilitados por miembros de la empresa. Finalmente se determina el nivel de madurez en mejora continua de la organización. Para ello, se lleva a cabo una búsqueda y relevamiento exhaustivo de diferentes modelos de madurez presentes en el estado del arte. Cada uno de ellos se somete a un análisis comparativo que permite la selección del modelo a adoptar. La información pertinente para la ejecución del modelo se obtiene mediante entrevistas con miembros de la empresa considerados informantes claves.

En la segunda etapa, se realiza un análisis de los colaboradores con el objeto de determinar el perfil de las personas que integran la organización. Se adopta como metodología de recolección de datos la observación directa a partir de visitas a planta y entrevistas con operarios y encargados. De esta manera, se sugiere una posible estructura de los equipos de mejora y se propone un plan de capacitación.

La tercer etapa se desarrolla en función de los resultados obtenidos en el diagnóstico y consiste en la enumeración de los lineamientos necesarios para la implementación de la mejora continua.

3. MARCO TEÓRICO.

3.1. Modelos de mejora continua.

La mejora continua (MC) exige su aplicación dentro de un marco coherente para lograr una mejora general junto con un cambio cultural en la forma en que opera la organización y las personas que la componen (Singh y Singh, 2015). En ese sentido, en la literatura se han propuesto modelos específicos para explicar el modo en que se debe implantar la MC. Estos modelos establecen criterios y orientan a

una organización sobre cómo debería gestionar la MC y, por lo tanto, le permiten generar un diagnóstico o evaluación que resulta de observar las diferencias entre el modelo y la situación actual de la empresa (Marin Garcia et. al, 2014). A continuación, se presenta un breve detalle de los diferentes modelos relevados.

3.1.1. Modelo evolutivo de comportamiento de MC.

Bessant et al. (2001), establecen un modelo en donde la MC es considerada como una capacidad organizacional dinámica que se desarrolla en cinco niveles, a mayor nivel de madurez mayor impacto se obtiene de la MC (Tolamatl Michcol et. al, 2016). La revisión de la literatura refleja que este es el modelo con mayor aceptación por parte de la comunidad académica y empresarial.

El modelo evolutivo de comportamiento de MC se basa en la premisa de que existen una serie de conductas y rutinas que pueden asociarse al grado de evolución del proceso de MC. Es decir, un proceso con un mayor nivel de maduración ha incorporado una mayor cantidad de estas rutinas (Bessant et al., 2001). Los niveles propuestos por Bessant et al. (2001) son:

- Nivel 1. Pre-MC: los problemas se resuelven al azar; no hay esfuerzos formales o estructura para mejorar la organización; las soluciones tienden a ofrecer beneficios a corto plazo; no hay impacto estratégico en los recursos humanos, finanzas u otros objetivos medibles; el personal y la dirección no son conscientes de la MC como un proceso.
- Nivel 2. MC estructurada: la MC o una iniciativa de mejora equivalente ha sido introducida; el personal utiliza procesos de resolución de problemas estructurados; una gran proporción del personal participa en actividades de MC; el personal ha sido capacitado en herramientas de mejora básicas; existe un sistema estructurado de gestión de ideas; se ha introducido un sistema de reconocimiento; las actividades de MC aún no se encuentran integradas con las operaciones diarias.
- Nivel 3. MC orientada a objetivos: a lo expresado en el Nivel 2 se incluye la implementación formal de objetivos estratégicos; el seguimiento y medición de la MC en función de esos objetivos; las actividades de MC son parte de la mayoría de las actividades del negocio; el enfoque incluye la resolución de problemas que abarcan fronteras e incluso empresas.
- Nivel 4. MC proactiva: a lo expresado en el Nivel 3 se agrega la delegación de responsabilidades a la unidad de resolución de problemas; altos niveles de experimentación.
- Nivel 5. Capacidad plena de MC: para alcanzar este nivel se incluye el comportamiento de aprendizaje extensivo y ampliamente distribuido, encontrar y resolver sistemáticamente problemas; capturar y compartir el aprendizaje; experimentación generalizada, autónoma pero controlada.

Para avanzar en los niveles de madurez, Bessant et. al (2001) propone el desarrollo de ocho rutinas: R1. Comprender la MC; R2. Adquirir hábitos de mejora; R3. Liderar el camino; R4. Enfoque de la MC; R5. Alinear la MC; R6. Resolución compartida de los problemas; R7. MC de la MC; R8. La organización que aprende.

3.1.2. Modelo evolutivo de comportamiento de MC adaptado.

Si bien el modelo evolutivo de comportamiento de MC define los niveles y rutinas, no presenta una vinculación entre la asimilación de las rutinas de mejora en función de cada nivel de madurez. A su vez, para determinar el grado de desarrollo, Bessant (2001) propone un instrumento compuesto por una serie de afirmaciones que caracterizan cada nivel y cada rutina, pero no expresa la forma en la que se debe aplicar ni brinda una escala de medición determinada.

Por este motivo, Unzueta Aranguren (2020) realiza una adaptación del modelo de Bessant y propone dos cuestionarios de evaluación de niveles de madurez y desarrollo de rutinas que se encuentran validados y accesibles. El instrumento para evaluar el nivel de madurez consta de 10 preguntas para cada nivel que se responden según “Verdadero” o “Falso”. El cuestionario de rutinas utiliza las afirmaciones de conductas presentadas por Bessant (2001) y añade una serie de preguntas que se califican según una escala Likert. Las herramientas de evaluación de este modelo se encuentran disponibles para su consulta en el documento elaborado por Unzueta Aranguren (2020).

3.1.3. Modelo estructural integrado hacia una actividad exitosa de MC.

El modelo estructural integrado elaborado por Wu y Chen toma como punto de partida el modelo de Bessant e introduce ciertas modificaciones a partir de oportunidades de mejora detectadas en el modelo

original. Wu y Chen (2006) sugieren que para generar un ambiente de mejora las actividades se deben ejecutar en torno a tres aspectos principales: problema; métodos y herramientas y promoción.

El núcleo de este modelo es una estructura piramidal que se obtiene a partir de la interacción de los tres componentes mencionados con su respectivo sistema de entrada/salida. Al inyectar los recursos adecuados en la pirámide (entrada) y trabajando efectivamente con los tres componentes de la base (estructura), es posible promover la capacidad de los empleados y lograr la mejora del desempeño del negocio (salida) (Wu y Chen, 2006). El modelo utiliza los cinco niveles propuestos por Bessant y establece que el avance a través de los niveles se logra al combinar el problema, los modelos y herramientas, y la promoción.

3.1.4. Modelos CMMI.

Los *Capability Maturity Model Integration* (CMMI) son un conjunto de buenas prácticas que ayudan a las organizaciones a mejorar sus procesos. Estos modelos son desarrollados por equipos de producto con miembros procedentes de la industria, del gobierno estadounidense y del *Software Engineering Institute* (SEI) (*Software Engineering Process Management Program*, 2010). Si bien inicialmente fueron desarrollados para su aplicación en la industria del *software*, su utilización se ha difundido hacia industrias de manufactura y servicios. Los CMMI presentan cuatro niveles de capacidad y cinco niveles de madurez.

3.1.5. Modelo CIMM.

El CIMM *(Continuous Improvement Maturity Model)* es un enfoque desarrollado por la *academia Lean Six Sigma* (LSSA) que combina los principios de diferentes metodologías de mejoramiento de procesos, gestión de la calidad y desarrollo de nuevos productos, con la mentalidad, habilidades y herramientas para la mejora (Lindemulder, 2015).

El CIMM se encuentra estructurado en dos ejes de trabajo, cada uno con sus respectivos niveles de madurez (cinco niveles). El primer eje se refiere al desarrollo de la organización, y el segundo a la mejora de los procesos. El modelo describe el desarrollo organizacional en función del desarrollo del liderazgo, las competencias de los colaboradores, la cultura organizacional y la forma en que la organización es gestionada. En cuanto al eje de mejora de procesos, el CIMM focaliza en la creación de una base sólida, la creación de una cultura de MC, el desarrollo de procesos estables, eficientes, capaces y a largo plazo (Theisens y Harbone, 2018).

3.1.6. Modelo autodiagnóstico de MC.

El modelo autodiagnóstico de MC es un instrumento validado que permite a las organizaciones autoevaluar su nivel de desarrollo en el proceso de MC y detectar áreas de mejora posibles (Formento, 2015). El modelo toma como base los nueve factores claves para la implementación y el desarrollo de la MC detectados por Formento y un equipo de investigadores del Instituto de Industria de la Universidad Nacional de General Sarmiento (Formento, 2013). A continuación, se enumeran y describen brevemente cada uno de los factores:

1. Formalización y estructura. Para implementar la MC, las organizaciones deben definir un programa formal que se encuentre avalado por la alta dirección y que brinde un marco de operación estándar en función de los procedimientos establecidos. Los programas formales deben contar con una estructura que los soporten, con colaboradores internos dedicados a su desarrollo y seguimiento diario.
2. Continuidad y duración. Los programas de MC no poseen un final establecido, deben ser continuos en el tiempo. El factor de continuidad apunta a la integración de las rutinas de mejora en la cotidianeidad de la organización y su alineación con los objetivos estratégicos.
3. Despliegue y alcance. La forma en que se despliega el programa resulta de gran importancia si se busca que impacte de igual manera en toda la organización. Para que todas las áreas hablen el mismo idioma, es fundamental la generación de equipos interdisciplinarios que desarrollen los problemas u oportunidades de mejora.
4. Entrenamiento y capacitación. Este factor se enfoca en la formación y entrenamiento de las personas en las metodologías y herramientas de resolución de problemas.
5. Compromiso de directivos. Este es uno de los factores más influyentes sobre el proceso de mejora y sobre el resto de los factores claves. Las actitudes adoptadas y transmitidas por los máximos niveles jerárquicos son las que marcan la cultura de la organización.

6. Coordinación del programa. Hace referencia a cómo se gestiona e integra cotidianamente la rutina con la mejora a través de recursos internos.
7. Metodología y herramientas. Para la aplicación de proyectos de mejora debe haber una metodología sistemática que guíe el curso de acción. Cada metodología cuenta con una serie de herramientas que deberán emplearse en función del problema a tratar.
8. Medición de resultados. En un proceso de MC es necesario tener evidencia de los progresos y resultados alcanzados con su aplicación.
9. Comunicación, reconocimiento e incentivos. La MC busca generar un ciclo de aprendizaje permanente en donde el principal activo es el capital humano. Para ello, es necesario ofrecer la adecuada motivación a los colaboradores de la organización.

Cada una de estas nueve áreas claves se evalúan en función de aspectos tangibles, formales o estructurales y aspectos intangibles, informales o actitudinales. Con factores tangibles, Formento se refiere a todos aquellos aspectos que se observan a simple vista y resultan de fácil reproducción o "imitación". Estos factores son necesarios, pero no suficientes a la hora de implementar la MC; es aquí cuando entran en juego los aspectos intangibles que tienen que ver con la cultura o forma de hacer las cosas y poseen gran relevancia en la explicación de los casos de alta efectividad.

La evaluación de los factores se traduce en forma de dos cuestionarios: uno para aspectos tangibles y otro para intangibles. La respuesta a los cuestionarios permite determinar el nivel de desarrollo alcanzado, tanto globalmente como en cada una de las áreas claves (Formento, 2015). Ambos cuestionarios se encuentran disponibles para su consulta en el libro del autor.

3.1.7. Modelo para la sostenibilidad de la MC.

El modelo para la sostenibilidad de la MC creado por Bateman y David (2002) propone diferentes estadios que atraviesan las organizaciones que aplican un proceso de MC. Para su confección, los autores realizaron un estudio que consistió en el desarrollo y seguimiento de 40 proyectos de mejora en 21 empresas estructurados en tres etapas:

- Etapa 1. Taller de mejora: se conforma un equipo de mejora de procesos para la aplicación de herramientas de mejora que permitan el análisis de problemas y estándares.
- Etapa 2. Seguimiento: se busca el mantenimiento y mejoramiento de los estándares conseguidos en la etapa anterior.
- Etapa 3. Post-seguimiento: en esta etapa se apunta a la integración de la mejora con la rutina y es la que garantiza la sostenibilidad de la mejora en el tiempo.

En función de cómo se desarrollen las actividades de MC en la etapa de "Taller de mejora" y "Seguimiento", las organizaciones se pueden clasificar en cinco estadios: A, B, C, D o E.

4. DESARROLLO.

4.2. Diagnóstico general de la empresa.

M.T.S. es una empresa familiar presente en el mercado textil desde hace más de 50 años. Su actividad comercial se centraliza en el reciclaje de fibras textiles provenientes de residuos manufactureros de otras organizaciones de la industria textil y la elaboración de artículos con aplicación en el área del hogar.

La empresa actualmente no cuenta con una visión claramente definida pero sí posee declarada su misión y valores. Contar con una misión definida demuestra que la organización tiene conocimiento del negocio actual, "quiénes son" y "a qué se dedican", por lo que es un aspecto positivo. Sin embargo, la ausencia de una visión comúnmente es un síntoma que denota falta de claridad en las aspiraciones futuras y puede llegar a generar inconvenientes o confusiones.

4.1.2. Análisis del nivel de madurez de MC de la organización.

Para la selección del modelo de evaluación del nivel de madurez de MC en la organización se compara cada modelo relevado respecto a los criterios de validación, disponibilidad de información y accesibilidad a métodos de evaluación. Finalmente, tomando en consideración el análisis realizado, se selecciona como modelo de evaluación del nivel de madurez de la organización el modelo de autodiagnóstico de MC elaborado por Formento. Particularmente, este modelo dispone de preguntas

que orientan a la organización en los lineamientos a seguir para continuar avanzando en los niveles de mejora.

Una vez seleccionado el modelo de diagnóstico, se evalúa su aplicabilidad en la empresa utilizando los cuestionarios de aspectos tangibles e intangibles. Como resultado, se observa que el modelo autodiagnóstico de MC se encuentra más orientado hacia organizaciones que ya poseen cierto grado de avance en los procesos de MC. Por este motivo, se opta por complementar el modelo de autodiagnóstico de Formento con un modelo que se adapte en mayor medida a la realidad actual de la compañía, como es el caso del modelo evolutivo de comportamiento de Bessant adaptado por Unzueta Aranguren. Este último cuenta con un nivel de "pre-mejora" que contempla la etapa preliminar a la implementación del proceso de MC.

Con el fin de considerar las fortalezas de cada modelo, se elabora una herramienta de diagnóstico que combina los cuestionarios y permite establecer el nivel de madurez de la organización según ambos modelos. La generación de una herramienta integrada posibilita la fusión de las similitudes que presentan los modelos, pero también contempla aquellos puntos en los que difieren (figura 1). De esta manera, se plantea un modelo integrado robusto que brinda lineamientos globales para la implementación de un sistema de MC incluso en empresas que se encuentran en una etapa incipiente de la mejora.

En la figura 1 se presenta la comparación entre el modelo autodiagnóstico (Formento) y el modelo evolutivo de comportamiento adaptado (Bessant adaptado por Unzueta Aranguren). En la zona interna del gráfico se detallan las similitudes entre ambos modelos y los ítems de sus respectivos cuestionarios que se encuentran relacionados. En este caso, para el modelo evolutivo corresponden las preguntas que comienzan con "P" (niveles) y "C" (rutinas); y para el modelo autodiagnóstico las referencias con "T" (tangibles) e "I" (intangibles). A su vez, a la izquierda se encuentran las características del modelo autodiagnóstico de Formento que son diferentes y, a la derecha, las del modelo evolutivo de comportamiento de Bessant adaptado por Unzueta Aranguren.

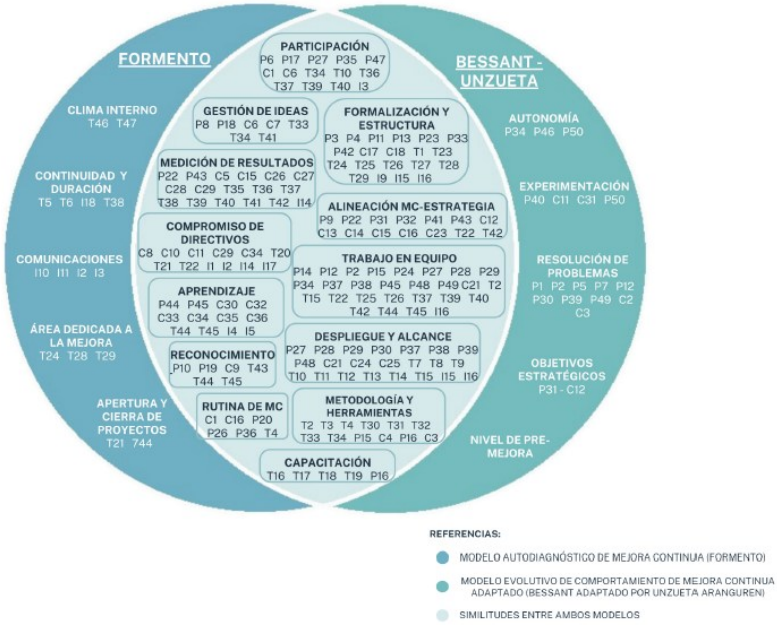


Figura 1: Similitudes y diferencias entre el modelo de Bessant adaptado por Unzueta Aranguren y el modelo de Formento.
Fuente: Elaboración propia a partir de Unzueta Aranguren (2020), Formento (2015) y Bessant (2001).

En cuanto a la estructura del instrumento integrador de modelos, el mismo se encuentra compuesto por una serie de preguntas abiertas o cerradas (verdadero o falso, selección de una opción, etc.) organizadas en diferentes bloques. Las respuestas a determinadas preguntas condicionan la apertura de un bloque de preguntas con mayor nivel de detalle que se encuentran directamente relacionadas. De esta manera, se busca generar una herramienta que mapee todas las afirmaciones de los modelos y, a su vez, no resulte demasiado extensa para los casos de madurez incipiente. Dado el alcance del presente trabajo, si se desea profundizar el análisis de la herramienta, es posible acceder mediante la siguiente ruta: Herramienta integradora de modelos para la evaluación del nivel de madurez de MC.docx

El cuestionario posee una columna denominada “relación” en la que se expone con qué estamentos de cada modelo se vincula la sentencia en cuestión. En algunos casos, una única pregunta se relaciona con más de una afirmación de los modelos. Ello se debe a que, al momento de elaborar la herramienta, se generaron las preguntas de manera abarcativa para evitar caer en la necesidad de recurrir a un mayor número de enunciados.

La herramienta integradora de modelos se pone en práctica mediante una entrevista realizada al encargado del SGC. La información recabada a partir de la entrevista permite completar los cuestionarios correspondientes a cada modelo teniendo en cuenta la relación entre las preguntas. De esta manera, es posible determinar el nivel de madurez de la organización en MC según cada escala de evaluación. A partir de la brecha con los lineamientos de la herramienta integradora, genera la propuesta de implementación.

Nivel de madurez según modelo autodiagnóstico de MC

En la tabla 1 se detallan los resultados finales obtenidos a partir del modelo de autodiagnóstico de MC. Los grados de avance se dividen en función de los factores claves que componen cada área del modelo y se categorizan según los aspectos tangibles e intangibles.

Tabla 1: Tabla final de resultados obtenidos para el modelo autodiagnóstico de MC.

Fuente: Elaboración propia.

Factores Clave	**Tangibles**	**Intangibles**
Área 1: Base de Funcionamiento	**Grado de avance**	**Grado de avance**
Formalización y estructura	25,0%	0,0%
Entrenamiento y capacitación	14,0%	0,0%
Metodología y herramientas	30,0%	25,0%
Consolidado área 1	**23,0%**	**12,5%**
Área 2: Dinámica del proceso		
Compromiso de directivos	6,7%	34,1%
Coordinación del programa	0,0%	39,5%
Despliegue y alcance	30,0%	31,3%
Comunicación, reconocimiento e incentivos	30,0%	34,1%
Consolidado área 2	**16,7%**	**34,3%**
Área 3: Resultados		
Medición de resultados	12,5%	0,0%
Continuidad y duración	0,0%	0,0%
Consolidado área 3	**10,0%**	**0,0%**
Consolidado Total	**16%**	**29%**

El consolidado total arroja mayor grado de avance para los aspectos intangibles que para los tangibles, aunque ambos valores llevan a categorizar a la empresa dentro del primer nivel de madurez (Nulo) que propone el modelo. Este resultado era de esperarse puesto que la organización aún no aplica ningún programa de MC formal y el modelo se encuentra más bien enfocado hacia empresas que ya poseen cierta base de mejora establecida.

Aspectos tangibles

Al analizar en profundidad la categoría de aspectos tangibles, se observa que los mayores grados de avance corresponden a la base de funcionamiento y a la dinámica del proceso. Si bien todos los puntos presentan oportunidades de mejora, las principales debilidades corresponden a la “Coordinación del programa”, la “Continuidad y duración” y al “Compromiso de directivos”. Los resultados obtenidos para los factores “Coordinación del programa” y “Continuidad y duración” se justifican principalmente con el hecho de no contar con un programa formal de MC.

De las preguntas correspondientes al factor “Compromiso de directivos” se desprende que en los casos en los que se han desarrollado proyectos no hubo reuniones de apertura y cierre, sino que se realizaron de manera más informal y esporádica; la empresa cuenta con ciertos objetivos estratégicos establecidos pero no fueron tenidos en cuenta para los proyectos que se han realizado, sino que surgieron por necesidades detectadas.

Esa informalidad de los equipos lleva también a comprender el motivo de los resultados obtenidos para el factor “Medición de resultados” (12,5%). Como conclusiones generales para este factor, se observa que no se miden los costos evitados por los proyectos y que es muy baja la participación del personal. A su vez, los proyectos realizados no suelen contar con una gran cantidad de integrantes, en su mayoría son desarrollados por 2 o 3 personas de una única área y tienen una extensa duración (1 año o más) por abordarse de manera intermitente. Las propuestas surgen mayormente desde niveles operativos y encargados, aunque se han detectado ideas aportadas por nivel Gerencia.

El grado de avance obtenido para el factor clave “Entrenamiento y capacitación” indica que debe desarrollarse un plan de formación para todo el personal en temas relacionados con la MC (herramientas, metodologías, trabajo en equipo, etc.). A su vez, demuestra la necesidad de asignar facilitadores internos y capacitarlos de manera intensiva en herramientas más específicas y temas como liderazgo, trabajo en equipo, etc. Este punto va de la mano con el factor “Metodologías y herramientas” que evidencia la falta de aplicación de herramientas como el ciclo PDCA, diagrama de causa y efecto, Pareto, entre otras, debido a la inexistencia de capacitaciones para su utilización. Dentro de este factor, hay dos preguntas orientadas hacia las “sugerencias de mejora”. Actualmente, la organización cuenta con un buzón de sugerencias en donde los colaboradores pueden aportar sus puntos de vista o ideas.

Por otro lado, el impacto en el factor “Formalización y estructura” se verá reflejado cuando se implemente formalmente el programa de MC y se definan equipos de mejora. Dentro de este factor se analiza también la aplicación de un programa de orden y limpieza. Desde el año 2022, la empresa aplica la metodología 5S. Sin embargo, a través de visitas a planta y luego de la aplicación de la herramienta integradora de modelos se detectan ciertas oportunidades en su implementación. Se observa que no se cumple estrictamente el estándar del sector y que la evaluación mediante auditorías no se sostiene en el tiempo.

Por último, dos de los factores con mayor porcentaje de avance dentro de los aspectos tangibles son “Despliegue y alcance” y “Comunicación, reconocimientos e incentivos”. Si se analizan los escasos proyectos que se han llevado a cabo en la organización, se observa que se desarrollaron mayormente en las áreas de Producción y en algunas áreas de soporte como Mantenimiento y Logística. Sería necesario tener en cuenta también áreas administrativas y comerciales.

Finalmente, en materia de “Comunicación, reconocimientos e incentivos”, se evidencia que no hay un programa de reconocimiento para estimular la participación.

Aspectos intangibles

Por otra parte, si se analizan los aspectos intangibles, el menor nivel de desarrollo se encuentra en el área de resultados. Los factores intervinientes son “Medición de resultados” y “Continuidad y duración”. Como conclusiones generales para estos factores, se observa que en ninguno de los proyectos desarrollados hasta el momento en la empresa se realizó una instancia de reflexión posterior a su cierre y se desconoce el momento preciso en el que finalizaron, es decir, no se cerraron formalmente. Esto puede ser otra consecuencia de la falta de formalidad de los proyectos.

La siguiente área con menor grado de avance desde el enfoque intangible es la base de funcionamiento (12,5%) compuesta por los factores “Formalización y estructura”, “Entrenamiento y capacitación” y “Metodología y herramientas”. En este caso, se evidencia que no hay un mecanismo de captura de aprendizaje ordenado y sistemático. Esta carencia lleva al desaprovechamiento de la experiencia para ajustar y fortalecer los procesos mediante herramientas como la capacitación y el entrenamiento. A su vez, por lo general los proyectos son realizados por un círculo pequeño de personas que resuelven las problemáticas en función de su experiencia y conocimientos.

Por último, dentro de los aspectos intangibles, el área con mayor grado de avance es la dinámica del proceso (34,3%). Analizando este factor, se desprende que el nivel de involucración de la dirección, gerencia y mandos medios en el programa de mejora es bajo ya que no se aplica aún. Sin embargo, en función del contacto establecido con la organización se observa un gran interés en la MC. Ese compromiso debe sostenerse y demostrar mediante participación en actividades de mejora cuando efectivamente se aplique un programa.

Nivel de madurez según modelo evolutivo de comportamiento de MC adaptado por Unzueta Aranguren

A partir del modelo autodiagnóstico, se evidencia que la organización aún debe trabajar en el establecimiento de ciertos aspectos fundamentales para aplicar la MC. Para complementar el análisis, se emplea el modelo evolutivo de comportamiento de MC de Bessant adaptado por Unzueta Aranguren y se obtienen los siguientes resultados para el nivel de madurez (tabla 2).

Tabla 2: Resultados para la evaluación del nivel de madurez según Bessant.

Fuente: Elaboración propia

NIVEL DE MADUREZ	VALOR
1	0,8
2	0,2
3	0
4	0
5	0

El mayor puntaje corresponde al nivel 1, lo que refleja que la empresa se encuentra en un estadio de pre-MC. Existe interés en la MC pero la implementación aún es muy básica. A partir del cuestionario del modelo se extraen las siguientes conclusiones:

- Los problemas se resuelven a medida que surgen. Se tiene una mirada más bien cortoplacista. Este resultado concuerda con la ausencia de definición de una visión a largo plazo analizada anteriormente. Sería importante comenzar a enfocarse en problemas que trasciendan el día a día.
- Se crean equipos para solucionar problemas concretos, generalmente conformados únicamente por personas del mismo departamento. La participación de los empleados en los proyectos de mejora es escasa. Los proyectos realizados no se desarrollan de manera formal y surgen más bien a tracción de un círculo pequeño de empleados. En línea con lo detectado en el modelo de Formento.
- No existe una estructura organizativa para desarrollar el sistema de MC.
- Los proyectos de mejora son ocasionales, no se aplica una metodología de búsqueda y resolución de problemas. Se requiere capacitación y planificación de necesidades a estudiar mediante proyectos de mejora.
- Existe un sistema estructurado para gestionar sugerencias de mejora. Requiere mayor impulso por parte del liderazgo para incrementar la participación de los colaboradores.
- Existe un sistema de reconocimiento pero enfocado hacia el rendimiento de uno de los sectores. No existen evidencias que se emplee a modo de estímulo de la participación de empleados en actividades que apoyen la mejora.

En cuanto al cuestionario de rutinas, en la figura 2 se presenta un gráfico radar con los porcentajes de desarrollo obtenidos para cada una de ellas. Como se puede observar, siete de los ocho niveles de asimilación de rutinas caen por debajo del objetivo de desarrollo del nivel de madurez 1. Sólo la rutina 8 “la organización que aprende” supera el objetivo y se encuentra en una transición entre el nivel 1 y 2.

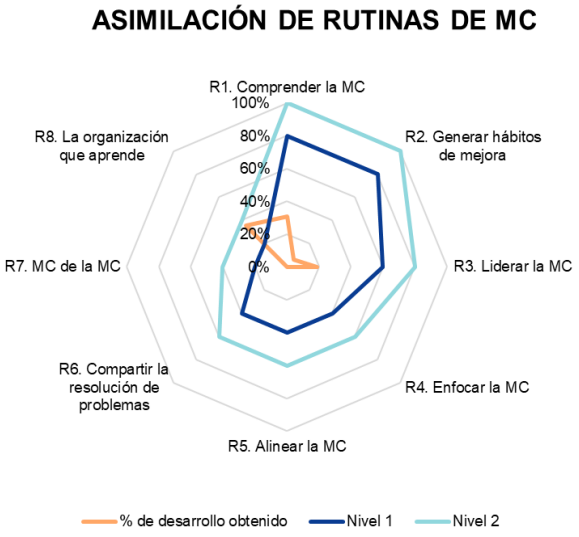


Figura 2: Gráfico radar del nivel de asimilación de rutinas de MC.
Fuente: Elaboración propia

4.2.3 Análisis de los colaboradores de la empresa.

Al evaluar el nivel de interés de los colaboradores en conocer más sobre la MC e involucrarse en el proceso se divide a los encuestados en línea con una regla experimental que expresa que la dotación puede clasificarse en tres grupos: el grupo A (15%) que se muestra proactivo y con tendencia a apoyar fuertemente el programa de mejora; el grupo C (15%) que demuestra un comportamiento opuesto al del grupo A, con cierto desinterés o apatía con la idea de participar en el programa y el grupo B (70%) que se encuentra en una zona intermedia a la expectativa de los resu.ltados y con posibilidad de direccionarse en cualquiera de los dos sentidos anteriores (Formento, 2015). Para el caso de M.T.S., el grupo A se compone por un 22% de la dotación, el grupo C por un 14% y el grupo B por un 64%.

Teniendo en cuenta que el grupo B se verá influido por los resultados obtenidos, para lograr la sostenibilidad de la MC será fundamental atraer a quienes conforman este conjunto en dirección del grupo A. Por este motivo, para iniciar la implementación del proceso de MC, se recomienda la formación de un equipo piloto mayormente con integrantes del grupo A. De esta manera, se incrementan las probabilidades de éxito y la posibilidad de persuasión del personal que se mantiene expectante. Se plantea que dentro de los equipos exista un facilitador, un líder y un comité de mejora. A su vez, se presenta en la organización un plan de formación propuesto para los colaboradores de la empresa estructurado según contenidos, alcance y el orden de implementación.

4.3. Lineamientos para la implementación de la MC.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos a partir del diagnóstico de la organización, se plantean diferentes lineamientos para la implementación de un programa de MC que integre los aspectos de ambos modelos. A la hora de realizar las propuestas, más allá de considerar la brecha existente entre cada nivel, se busca alcanzar un desarrollo evolutivo que permita implementar la mejora de manera sostenible y no generar “falsos comienzos” que lleven a la obtención de resultados no deseados en el programa. A continuación, se presentan las distintas etapas propuestas con sus fases y respectivos lineamientos de manera general (figura 3).



Figura 3: Etapas y fases del programa de implementación del sistema de MC.

Fuente: Elaboración propia en base a programa de MC de empresa alimenticia M.C. (nombre ficticio, confidencial).

4.3.1. Etapa Fundacional.

En esta etapa se establecen las bases para la aplicación del programa. El establecimiento de bases abarca la definición de la visión, la revisión y/o re definición de objetivos y su comunicación, la creación de un departamento de Calidad (o similar en un principio, a mayor madurez se debería crear un departamento específico de MC), la re-definición de indicadores relevantes para la organización y su animación. Posteriormente, se comienza con la fase de “Inmersión” a nivel liderazgo en donde se brindan conceptos sobre la MC en busca de su compromiso. Finalizada esta fase, se convoca a gerencia y jefatura para el diseño específico del plan de acción a seguir para comenzar con la implementación del programa de mejora. Se definen los detalles del sistema (nombre del programa, sistema de sugerencias, equipos de mejora, plan de reconocimiento, metodología de seguimiento, indicadores, etc.). Una vez diseñado el sistema, se realiza el lanzamiento formal del programa ante toda la dotación y se procede a entrenar a los miembros de los equipos de mejora. Se comienza con la implementación y se realiza el seguimiento y coaching del mismo.

4.3.2. Etapa de Estabilización.

Evaluación del nivel de madurez. Una vez finalizado el primer proyecto, realizar un nuevo diagnóstico del nivel de madurez de MC. Así se identificarán las brechas existentes para continuar avanzando en los niveles de mejora y se obtendrán los lineamientos necesarios. Esta etapa comprenderá nuevamente el diseño del programa para ajustar los puntos necesarios y el entrenamiento de nuevos equipos de mejora. De esta manera, se comenzará a aplicar el programa en un mayor número de equipos. Una fuente de generación de ideas a utilizar es el sistema de sugerencias. Siempre al finalizar cada proyecto mostrar resultados al resto de la organización.

4.3.3. Etapa de Aceleración.

La etapa de estabilización se repetirá hasta que la organización se encuentre en un nivel de madurez alto (nivel 4 - “MC proactiva” o nivel 5 - “Capacidad plena de MC” en modelo de Bessant y nivel 4 - “Desarrollo pleno” o nivel 5 - “Excelencia” en modelo de Formento), momento en el cual pasa hacia la etapa de Aceleración. En este momento, la empresa cuenta con un amplio despliegue de la MC, se emplean metodologías avanzadas y se sitúa en una instancia de “organización que aprende”. Se trata de una instancia de perfeccionamiento de la excelencia.

Se le asigna el nombre “Aceleración” por ser una etapa en la que el nivel de madurez del sistema de MC ya es avanzado, se aplica ampliamente en la organización y las acciones que se realicen serán para continuar perfeccionándolo. Es importante aclarar que la empresa deberá continuar autoevaluando su nivel de madurez cíclicamente con el modelo y en función de ello definirá las herramientas a utilizar para sostener el programa y mejorarlo.

5. CONCLUSIONES.

El objetivo general del presente proyecto consistió en la propuesta de un sistema de MC que actúe como marco de referencia a la hora de implementarla en una PyME argentina del sector textil. Luego de realizar un diagnóstico general de la organización, para determinar el grado de evolución de MC en la organización se seleccionaron el modelo autodiagnóstico de MC desarrollado por Formento y el modelo evolutivo de comportamiento de MC propuesto por Bessant adaptado por Unzueta Aranguren. Ambos modelos se integraron en una herramienta integradora que permite recabar la información necesaria para completar los cuestionarios mediante un menor número de preguntas que abarcan varios ítems de los modelos. A modo de proyección futura, la herramienta generada y la fusión de ambos modelos podría ser utilizada como insumo para la generación y validación de un modelo adaptado a empresas que se encuentran transitando etapas previas o incipientes a la MC y contemple las fortalezas y elementos diferenciadores de cada modelo.

Como resultado de la aplicación de la herramienta, se determinó que la organización se encuentra en un estadio “Nulo” de mejora según el modelo de Formento y en un nivel de “Pre-mejora” según el enfoque de Bessant. Esta condición era de esperarse ya que la empresa actualmente no aplica ningún programa de mejora formal. Sin embargo, es importante realizar el diagnóstico ya que permite detectar las fortalezas y debilidades de la empresa para definir los lineamientos a seguir y estructurarlos en un plan de acción.

A su vez, luego de consultar numerosas fuentes bibliográficas, fue posible comprender la importancia que el rol de las personas juega en este tipo de procesos. Por este motivo, el diagnóstico de la empresa se complementó con el análisis de los colaboradores. En este punto se aplicó una regla experimental que permitió distribuir a la dotación según su grado de interés en el proceso de MC (proactivos, indiferentes, escépticos) y se detectaron aquellas personas que se recomienda que integren los primeros equipos de mejora para asegurar una mayor probabilidad de éxito del programa.

El fracaso de gran cantidad de programas de MC puede llevar a pensar que es una práctica que se debe restringir únicamente a las grandes organizaciones. Sin embargo, aplicarlo en PyMES es posible, si se cuenta con un sistema estructurado que lo sustente y guíe en su implementación. A modo de conclusión final, la realización del trabajo permitió obtener una mirada más amplia de una filosofía que comienza a tomar relevancia en el ámbito organizacional y que promete buenos resultados para las empresas que lo aplican adecuadamente.

6. REFERENCIAS.

BATEMAN, N. y DAVID, A. Process improvement programmes: a model for assessing sustainability, International Journal of Operations & Production Management, Volume 22, Issue 5, 2002, pp. 515-526.

BESSANT, J.; CAFFYN, S. High-Involvement Innovation Through Continuous Improvement, International Journal of Technology Management, January 1997.

BESSANT, J.; FRANCIS, D. Developing Strategic Continuous Improvement Capability, International Journal of Operations & Production Management, Volume 19, November 1999, pp. 1106-1119.

FORMENTO, H.R.; ALTUBE, L.; CHIODI, F.; CUSOLITO, F. y GATTI, S. Key factors for a continuous improvement process, Independent Journal of Management & Production. Volume 4, Issue 2, 2013, pp. 391-415

FORMENTO, H.R. (2015). El proceso de mejora continua: claves para el desarrollo exitoso de las organizaciones. Los Polvorines. Universidad Nacional de General Sarmiento. Ediciones UNGS.

LINDEMULDER, M.J. (2015). Development of a Continuous Improvement Maturity Model Assessment Instrument, Proceedings of the 5 Th IBA Bachelor Thesis Conference, July 2nd, 2015, pp. 1–13.

MARIN GARCIA, J.A.; BAUTISTA POVEDA, Y. y GARCIA SABATER, J.J., Etapas en la evolución de la mejora continua: Estudio multicaso, Intangible capital, Volumen 10, Edición 3, 2014, pp. 584-618.

SINGH, J.; SINGH, H. Continuous improvement philosophy: literature review and directions, Benchmarking, Volume 22, Issue 1, 2015, pp. 75–119.

THEISENS H.C. (2014). Climbing the Mountain: mindset, skill set and tool set for lean six sigma green & black belts. Amsterdam. LSSA BV.

THEISENS, H.C. y HARBONE, D. (2018). Lean Six Sigma Black Belt Skill Set. Amersfoort, Netherlands. Lean Six Sigma Academy, LSSA.

TOLAMATL MICHCOL, J.T.; PICO GONZÁLEZ, B.; SALDAÑA CARRO, C.; VARELA LOYOLA, J.A., Desarrollo de sistemas de mejora continua, Revista Internacional Administración y Finanzas, Vol. 6 No. 6, 2016, pp. 11-25.

UNZUETA ARANGUREN, G. (2020). Desarrollo y despliegue de un modelo de madurez de mejora continua adaptado a una pyme industrial de bienes de equipo del país vasco. Trabajo final. Departamento de Mecánica y Producción Industrial Mondragon Unibertsitatea.

WU, C. W. y CHEN, C. L. An Integrated Structural Model Toward Successful Continuous Improvement Activity, Technovation, Volume 26, Issue 5-6, 2006, pp. 697-707.

DISTRIBUCIÓN DE PLANTA 4.0

Fernando Maillmann; Leopoldo De Bernárdez

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BUENOS AIRES
fmaillma@itba.edu.ar; ldb@itba.edu.ar

RESUMEN

El presente trabajo nos inmerge en consideraciones de diseño de proyecto al momento de implementar herramientas de toma de datos en tiempo real en planta, también conocidas como tecnología de internet industrial de las cosas, necesarias para optimizar la gestión de operaciones industriales.

Una concepción equivocada que no tome en cuenta diferencias significativas en lo referido a una distribución por proceso versus distribución por producto implicará atravesar indefectiblemente una serie de dificultades que provoquen que los resultados obtenidos no puedan ser traducidos en información necesaria para la búsqueda de la mejora continua.

Las conclusiones son alarmantes, al presentar una situación inicial de monitoreo del OEE del 88%, en contra partida a una realidad, desconocida hasta ese entonces, catorce puntos inferiores del orden del 74%. Esta brecha provocará no atacar la eliminación de desperdicios, conocidos también como mudas, en búsqueda de la optimización del estado de resultados de la compañía. Veremos que dicha diferencia será una consecuencia de la incorrecta imputación de retrabajos generados al realizar un seguimiento de la actividad basado en el tiempo de ocupación de los operarios, en lugar de hacerlo sobre el tiempo efectivo en producir unidades buenas de forma contínua.

La siguiente investigación es del tipo descriptiva, basada en una recolección de datos empíricos tomados en forma asincrónica durante el año 2023, sobre un universo muestral definido por una empresa manufacturera dedicada a la producción de instrumentos de pesaje comercial para el mercado argentino y latinoamericano.

Palabras clave: IIOT, OEE, Operaciones, Distribución, Industria

ABSTRACT

This work immerses us in project design considerations when implementing real-time data collection tools in the plant, also known as internet of things technology, necessary to optimize the management of industrial operations.

A wrong conception that does not take into account significant differences regarding distribution by process versus distribution by product will inevitably involve going through a series of difficulties that cause the results obtained to not be translated into information, necessary for the search for continuous improvement.

The conclusions are alarming, presenting an initial situation of OEE monitoring of 88%, in contrast to a reality fourteen points lower, 74%. This gap will cause not to attack the elimination of waste, in search of optimization of the company's income statement. We will see that this difference will be a consequence of the incorrect imputation of rework generated when monitoring the activity based on the occupation time of the operators, instead of doing so on the effective time in producing good units continuously.

The following research is of the descriptive type methodology, based on a collection of empirical data taken asynchronously during the year 2023 on a sample universe defined by a manufacturing company dedicated to the production of commercial weighing instruments for the Argentine and Latin American markets.

Keywords: IIOT, OEE, Operations, Distribution, Industry

1. INTRODUCCIÓN

La eficiencia global de equipamiento, conocida internacionalmente como OEE, es un indicador clave de actividad que resume el mayor o menor grado de salud operativa de una organización [1]. Usualmente forma parte de los tableros de comando de mandos directivos y permite identificar, para diferentes períodos temporales, el correcto funcionamiento de la actividad.

En su denominador usualmente se establece un valor objetivo, el cual puede estar expresado en unidades físicas o en tiempo, mientras que en su numerador se indica las unidades buenas o tiempo efectivo logrado. Valores más elevados, cercanos al cien por ciento (100%), serán interpretados como una ausencia de pérdidas, también llamadas según la escuela de la manufactura esbelta *mudas*, y valores bajos despertarán una alarma que impulsará la toma de acciones correctivas. Ejemplos conocidos de mudas son: retrabajos, sobre procesamientos, generación de material defectuoso o *scrap*, paros correctivos, entre otros.

Las nuevas tecnologías aplicadas, enmarcadas bajo el concepto de industria 4.0 [2], fueron abriendo puertas a las PYMES argentinas en los últimos años a tener un conocimiento de los diferentes eventos productivos con una mayor rapidez. Si bien publicaciones tales como *Travesía 4.0: Hacia la transformación industrial argentina* (BID, 2019) indican que tan sólo una de cada diez empresas tiene implementado algún habilitador tecnológico en sus procesos en la actualidad, se espera que para comienzos del 2030 la búsqueda de competitividad a nivel global de los mercados impulse a que este nivel se duplique, como mínimo.

Tradicionalmente, la toma de información primaria operativa de planta se efectuaba en base a planillas en papel compuestas por una serie de datos diarios, tales como la identificación por código de la orden de trabajo, seguida por la pieza a fabricar, nombre del operador, turno, cantidad producida y eventos.

Para el caso de producciones continuas con tres turnos ininterrumpidos en serie, se generaban en el mismo sentido tres hojas reporte entregadas por sus respectivos líderes de equipo a la jefatura de producción o gerente de planta. Finalmente, estos datos se volcaban a formato digital en planillas históricas para su posterior procesamiento y toma de indicadores clave (KPI). La desventaja de esta forma de trabajo es que no permite, sino hasta la mañana siguiente, que el mando medio directivo tome acción, muchas veces con 24 horas de retraso frente a la aparición de una anomalía.

La incorporación de dispositivos móviles tales como tabletas con acceso Wifi a internet, acompañadas por softwares específicos de procesamiento de datos relativamente de bajo costo, permitieron a la pequeña y mediana empresa poder replantear sus sistemas de la información integrados en búsqueda de mejorar sus operaciones.

La baja inversión asociada a estos proyectos, acompañada por la presión accionaria de mejorar los estados de resultados, provocaron que muchas empresas argentinas pusieran sobre la mesa proyectos de recambios tecnológicos antes de lo previsto.

La toma de información operativa tiene carácter sensible, ya que en una gran parte de las organizaciones se encuentra asociada a una tasa de rendimiento productivo (TRP) que se refleja en las remuneraciones quincenales o mensuales del personal en planta. La concepción del sistema de la información integrada (SIG) lleva consigo una gran responsabilidad para la alta dirección y deberá adecuarse a las realidades de cada actividad para que la misma pueda brindar la información más fidedigna y justa para con su personal.

El presente trabajo buscará ilustrar, con un caso real, aspectos de diseño de proyecto de transformación digital que serán necesarios tomar en cuenta para lograr el éxito en su implementación.

Para ello, se tomará como base dos distribuciones de planta con sus particularidades: aquella denominada *por producto*, en donde la secuencia lineal de los pasos operativos no tiene mayor peso, y la distribución *por proceso* más presente en las plantas con línea de producción continua. Un ejemplo de la primera categoría es un taller mecánico, mientras que para la segunda una industria de bebidas en donde el proceso de llenado de envases siga una serie de operaciones determinadas desde la disposición de la materia prima hasta la obtención del producto terminado. Las conclusiones que se exponen en la presente publicación tienen el ánimo de aportar a las PYMES argentinas un camino de mayor claridad a la hora de tomar decisiones de implementación en este tipo de tecnologías.

2. MARCO TEÓRICO

La Industria 4.0 representa una transformación radical en los procesos de manufactura [3], impulsada por la integración de tecnologías avanzadas que fusionan el mundo físico y digital. Este concepto engloba un conjunto de tecnologías, como los sistemas ciberfísicos (CPS) [4], Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA), la robótica avanzada y la computación en la nube. Los CPS permiten monitorear y controlar procesos físicos en tiempo real, creando réplicas virtuales que facilitan la toma de decisiones descentralizada. La IA junto con IoT permite que máquinas y dispositivos se comuniquen y aprendan unos de otros, mejorando la eficiencia y reduciendo errores. La computación en la nube y el análisis de big data ofrecen acceso a vastos volúmenes de información, optimizando la producción y la cadena de suministro. Estas tecnologías se combinan para crear fábricas inteligentes, donde los procesos son más flexibles, personalizados y eficientes. La Industria 4.0 no solo mejora la productividad, sino que también facilita la adaptación rápida a las demandas cambiantes del mercado, posicionándose como un pilar esencial en la evolución hacia un futuro industrial más sostenible y competitivo. El diseño de un proyecto de transformación digital en el contexto de Industria 4.0 requiere un enfoque meticuloso que considere las particularidades de la distribución de planta. Para los dos tipos de distribución consideradas en este trabajo se exploran las potenciales mejoras en la Eficiencia Global de Equipamiento (OEE) que pueden lograrse utilizando las tecnologías aplicadas en Industria 4.0.

La distribución por producto se caracteriza por la disposición de las operaciones en función de los productos fabricados y donde cada producto puede seguir rutas diferentes dentro del taller o fábrica. Este enfoque es común en entornos de manufactura flexible como talleres mecánicos. Dentro de las tecnologías de I4.0 aplicables, las que en principio muestran mayor potencial en este caso serían IoT, análisis de datos y robótica.

En el caso de IoT, la implementación de sensores conectados puede permitir un monitoreo en tiempo real del estado de las máquinas y herramientas, mejorando la capacidad de respuesta ante fallos y optimizando el mantenimiento preventivo.

En cuanto al análisis de datos, la recolección de datos operativos, potenciada por la utilización de recursos de IoT y su análisis mediante herramientas de machine learning, permite identificar patrones que posibilitan la mejora continua, reduciendo tiempos muertos y mejorando la calidad del producto.

Por otra parte, la integración de robots, especialmente los colaborativos (cobots) puede aumentar la flexibilidad operativa, permitiendo una reconfiguración rápida de las líneas de producción para adaptarse a las variaciones en la demanda.

En una distribución por producto, la implementación de estas tecnologías puede entonces reducir significativamente los tiempos de inactividad no planificados mediante el mantenimiento predictivo, aumentando la disponibilidad de los equipos. La calidad también se ve beneficiada por el análisis de datos en tiempo real, que permite detectar defectos de manera temprana. Sin embargo, la eficiencia del conjunto podría no mejorar tan significativamente debido a la naturaleza variable y personalizada de la producción.

Por otra parte, La distribución por proceso es común en industrias con líneas de producción continua, como la industria de bebidas, donde el producto sigue una secuencia específica de operaciones. Las tecnologías que tendrían mayor impacto positivo en este caso serían IoT, automatización y control avanzado, desarrollo de gemelos digitales [4] y digitalización de la cadena de suministro.

IoT permite obtener continuamente datos de los equipos, La automatización mediante controladores analógicos y PLCs integrados en sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), junto con el procesamiento de la información mediante algoritmos de machine learning, permite un control preciso y adaptable de la línea de producción, optimizando cada etapa del proceso. También se pueden desarrollar herramientas de machine learning para mantenimiento predictivo aprovechando información obtenida mediante IoT.

Los gemelos digitales, particularmente útiles en plantas con distribución por proceso pueden simular la operación completa de la línea de producción, permitiendo probar cambios y simular situaciones de contingencia sin interrumpir la producción real. Esto mejora la planificación y reduce riesgos.

La digitalización de la cadena de suministro permitiría una coordinación más eficiente entre el aprovisionamiento de materias primas y la producción, asegurando el cumplimiento de la planificación y mejorando la eficiencia.

Comparando los efectos de la implementación de tecnologías de I4.0 en la OEE encontramos que, si la distribución es por producto, en principio parece posible lograr una mejora en la disponibilidad de los equipos y la calidad de los productos, pero solo un impacto moderado de la eficiencia. Por otra parte, si la distribución es por proceso podría lograrse en una mejora tanto en la disponibilidad de equipos, como en la calidad de producto y la eficiencia, resultando por lo tanto en una optimización global de la OEE.

3. EL PRODUCTO

El producto responde al mercado de soluciones de pesaje electrónico, abordando tres grandes líneas de clientes: comerciales, industriales y personas.

Podemos decir que es un producto de manufactura compleja porque engloba diferentes etapas compuestas por (1) una parte electrónica, que requiere equipamientos de manufactura con tecnología sofisticada, (2) otra parte de cableado interno en lo referido a alimentación eléctrica y comunicación y (3) piezas plásticas tercerizadas en inyectores por moldeo con herramentales propios para conformar el esqueleto de soporte para el ensamblaje del producto final.

4. EL MERCADO

La empresa bajo estudio, de ahora en adelante Empresa X, destina sus productos principalmente al mercado local, en un 70%, y un 30% a la exportación a países de Latinoamérica, en donde Brasil y México concentran su mayor clientela internacional. Debido a las altas exigencias de calidad en las que se ve inmersa, las soluciones ofrecidas deben constar con estándares y controles productivos adecuados para minimizar las fallas eléctricas, de diseño y funcionales.

A su vez, las regulaciones eléctricas impuestas por la IEEE, normas ISO 9001 y 14001, elevan los requisitos a ser satisfechos por las diferentes áreas.

5. EL PROCESO PRODUCTIVO

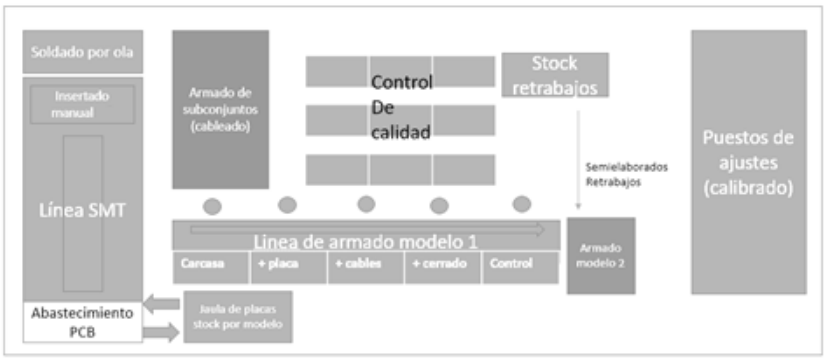


Figura 1 Lay Out de Planta

5.1 Área de soldadura

La nave productiva consta de un área de electrónica dispuesta en línea contínua, la cual comienza con una primera etapa de abastecimiento y almacenamiento de circuitos electrónicos impresos (PCBs), los cuales son diseñados durante una etapa previa por el Departamento de Ingeniería, tercerizada su fabricación en proveedores externos en la localidad de Buenos Aires, y luego recepcionados por logística con su respectivo control de calidad.

Según el lote de fabricación y modelo deseado, se abastecen los PCBs con sus respectivos circuitos a la siguiente etapa de tecnología de montaje superficial de componentes electrónicos (SMT). Allí reciben un primer tratamiento de barrido de una pasta denominada *flux* compuesta por estaño y plomo, la cual servirá como base para una posterior inserción de componentes electrónicos a muy altas velocidades

(alrededor de 5 componentes por segundo). Los mismos, se caracterizan por su bajo tamaño y peso, tales como chips SMDs, resistencias y diodos. Para finalizar, sobre una línea contínua *conveyor* los PCBs ya insertados y bañados por la mezcla de soldadura pasan a una fase de horneado a altas temperaturas, alrededor de los 250°C, para finalmente enfriarse y ser depositados en *magasines* como productos semielaborados.

Posteriormente, dichas placas procesadas por la SMT son abastecidas por los propios operarios del área, pasando a una siguiente etapa de inserción manual de componentes a los que llamaremos “pesados”, tales como capacitores, *switchs* de alimentación, entre otros.

La inserción manual es acompañada por la soldadura aplicada con estaño por lápices con puntas de calentamiento eléctrico. Una vez que se finaliza dicha operación con los componentes “pesados”, se pasa a una siguiente etapa llamada soldadura por olas, en donde las placas son llevadas y trasladas por cinta continua a un baño de estaño tipo cascada para terminar de asegurar la fijación de las partes en la placa PCB.

Para finalizar, las placas son recuperadas y llevadas a estaciones de control donde los diversos circuitos son testeados en probadores equipados con programas diseñados específicamente para esta función por parte del Equipo de Ingeniería.

Una vez que se asegura que las placas funcionen correctamente, son depositadas fuera del área de soldadura en un rack compuesto por gavetas plásticas de almacenaje con separadores para ser tomadas por el sector productivo de armado de balanzas en un paso posterior.

5.2 Zona de armado de cables

El siguiente semielaborado productivo que debe ser preparado para el armado de las balanzas previamente a su ensamblaje son los cables, los cuales son de diferentes diámetros según el amperaje que deban soportar, en el caso de los de alimentación, y de diferente número de pines, para el caso de aquellos destinados a la comunicación de información a ser traducida como datos de lectura en los visores del equipo (pantalla LCD) para el cliente final.

En todos los casos, los cables se componen tanto por filamentos como terminales de diferentes tipos y modelos.

Los operarios especializados en el armado de cables, toman diferentes insumos dispuestos en gavetas en su entorno y mesas de trabajo, realizando el ensamblaje y testeos de calidad de funcionamiento correspondientes, tomando principal atención al grampado de los terminales para evitar un falso contacto y asegurar su durabilidad.

Los cables terminados finalmente se agrupan por cantidades estándares por medio de bandas elásticas y dispuestos en gavetas de semielaborados terminados para su posterior utilización.

5.3 Línea de armado por proceso – Producto TIPO A

Tal es el propósito del siguiente trabajo, que se distinguirán dos diseños de flujo de proceso. En esta oportunidad, hablaremos de la línea contínua de montaje para el armado de balanzas, la cual se puede dotar de diferente cantidad de operarios, según sea el objetivo de productividad deseado. A grandes rasgos, podemos decir que en la Empresa X varía entre cuatro y seis trabajadores la dotación del personal dispuesta en forma contigua, los cuales ensamblaran partes diferentes según sea su posición en la misma, con el fin de que, en forma secuencial, vayan ensamblando partes entre sí desde una primera posición hasta la última de ajuste.

El diseño de la línea contínua por proceso corresponderá a aquel tipo de producto de la empresa con mayor demanda de ventas mensuales, que justifiquen contar con una capacidad tal que ronde los 200 equipos por turno (8 horas productivas). De ahora en más llamaremos a este producto TIPO A.

5.4 Estación de armado por producto – Producto TIPO B

Por otro lado, tendremos los productos TIPO B, en donde el volumen de producción mensual no justifica la inversión e instalación de una línea de manufactura contínua, sino que se establecerán *batchs* de producción más reducidos que para el caso anterior, del orden de 20 equipos por turno (8 horas productivas).

La distribución de este tipo de proceso se asemeja al de un taller, en donde las secuencias dentro de un mismo turno pueden verse alternadas con otras estaciones destinadas a otras funciones, según sea la necesidad de la planta en un momento determinado y por lo tanto, de una linealidad más errática en la que, según sea la necesidad puntual de la operación, pueda alternar entre realizar semielaborados como etapa inmediata posterior, o un retrabajo suministrado desde un *buffer* de productos a reparar o con insumo faltante.

5.5 Puestos de ajuste y calibrado

La etapa de ajuste y calibración corresponde a una de las últimas fases antes de la disposición del producto terminado. La misma, consiste en ser abastecida por la etapa previa de armado, Tipo A o B, para realizar testeos de funcionamiento según las exigencias de pesaje del mercado, en donde cada punto de contacto con el objeto a pesar, en las diferentes esquinas y centro, deberán arrojar el mismo valor resultado expresado en gramos [kg] y [gr].

Con dicho cometido, se utilizan piezas cilíndricas patrón en relación a cada capacidad de modelo, con asistencia de una pluma para mejor condición ergonómica del operario a cargo.

Una vez finalizados los ajustes y la calibración, el procedimiento es validado electrónicamente por el software del equipo, el cual arroja su aprobación o desaprobación de funcionamiento en forma automática.

5.6 Control de calidad

El proceso productivo está certificado bajo normas ISO 14011 e ISO 9001.

Dentro del Manual de Calidad se exige que los equipos, una vez calibrados, sean dispuestos en buffers de estacionamiento por un período de 48 horas, de modo de poder detectar durante este tiempo posibles desperfectos eléctricos de apagado o intermitencia.

Una vez cumplido este lapso, el equipo es acondicionado en su correspondiente embalaje de cartón y partes amortiguadoras, con el fin de que no se dañe al momento de distribución y transporte al intermediario o cliente final. A su vez, es identificado por una etiqueta con su respectivo número de serie para asegurar la correcta trazabilidad.

Por otro lado, el equipo es sometido por muestreo a diferentes tipos de ensayos, dentro de los cuales los funcionales adquieren mayor relevancia.

6. ANÁLISIS DE OEE POR DEFECTO

La actividad es monitoreada a nivel industrial por el OEE, también denominado eficiencia de planta, al ser considerado un indicador clave para la gestión de las operaciones.

El mismo puede ser alimentado de dos formas diferentes: sea por el seguimiento de las unidades producidas reales buenas sobre las teóricas por ciclo estándar definido, o por medio del tiempo consumido real sobre el teórico requerido, expresado en minutos u horas generalmente.

La Empresa X bajo estudio eligió en una primera instancia el seguimiento por unidades. En la Tabla A se detalla las [UN plan] como aquellas unidades planificadas, [UN realizadas] como las tomadas buenas según control de calidad, [UN capacidad] como las que deberían realizarse por unidad estándar en forma máxima. Si las [UN plan] difieren de las [UN capacidad], significará que hubo parte del mes no aprovechado por falta de demanda comercial, por ejemplo, mientras que las diferencias que se obtengan entre [UN realizadas] y [UN plan], indicarán ineficiencias en la operación, ya que hubo carga comercial, pero por algún motivo, sea productivo, humano, técnico, no se realizó lo acordado.

Según el tiempo de ciclo definido, las UN realizadas se pueden traducir en [Suma de TO], que corresponde al tiempo operativo insumido en realizar las piezas reales buenas y es, a fin de cuentas, el tiempo utilizado de manera efectiva. Su división con el tiempo total disponible que se asocia con todo aquel tiempo continuo fuera de mantenimientos y paradas preventivas o anticipadas asumidas, dará como resultado el [% Eficiencia] u OEE.

En una etapa inicial del estudio, los datos obtenidos fueron:

Tabla 1 Resultados operativos 2023 por defecto

Mes	UN plan	UN realizadas	UN capacidad	Suma de TO	MNTO	ABAS	RETRAB	Suma Fallas	% Tasa paros MNTO	% Eficiencia
2023	**51.023**	**45.017**	**61.907**	**418.134**	**7.457**	**26.708**	**0**	**34.165**	**8,17%**	**88%**
1	2.782	2.555	6.493	36.960	702	2.365	0	3.068	8,30%	**92%**
2	3.346	2.648	4.719	26.900	215	1.695	0	1.910	7,10%	**79%**
3	3.480	2.985	6.565	33.320	1.133	2.083	0	3.215	9,65%	**86%**
4	4.101	3.522	5.148	34.572	1.106	2.143	0	3.250	9,40%	**86%**
5	1.914	1.693	2.771	31.324	470	1.723	0	2.193	7,00%	**88%**
6	5.947	5.497	6.136	31.723	571	2.062	0	2.633	8,30%	**92%**
7	6.194	5.407	6.486	46.900	844	3.283	0	4.127	8,80%	**87%**
8	4.212	3.755	4.360	40.621	284	2.640	0	2.925	7,20%	**89%**
9	5.310	4.932	5.490	37.440	861	2.059	0	2.920	7,80%	**93%**
10	6.114	5.185	6.178	38.979	1.130	2.339	0	3.469	8,90%	**85%**
11	5.147	4.758	5.127	35.498	248	3.017	0	3.266	9,20%	**92%**
12	2.476	2.080	2.434	23.897	96	1.434	0	1.529	6,40%	**84%**

El OEE fue elevado, con un valor promedio anual del 88% y un volumen de 45.017 unidades producidas. Es menester tener en cuenta, a modo de referencia, que valores superiores al 80% los consideraremos buenos a nivel industrial.

Las fallas registradas rondaron los 7.457 minutos y, 26.708 minutos fueron asignados a inconvenientes de abastecimiento de insumos, que repercutieron en paros productivos por no poder avanzar con las tareas en tiempo y forma.

Nótese que la columna de retrabajos [RETRAB] se registró con 0 minutos. La explicación deriva en que los mismos existieron para el puesto del TIPO B, distribución por producto, pero al no representar un paro para el trabajo continuo del operador, no fueron registrados, sino que permanecieron ocultos por la carga del trabajo que la misma incidencia generó.

7. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Consideramos el caso de una línea operando con una distribución por proceso y uno o más puestos que tienen una distribución por producto. Para el caso en análisis la forma más eficiente de aplicar tecnologías con impacto positivo en la empresa es digitalizar las operaciones incorporando Internet de las cosas (IoT por sus siglas en inglés). Esta tecnología, que también se conoce a nivel industrial como IIoT (Industrial Internet of Things), se basa en la interconexión de dispositivos y máquinas dentro de un entorno industrial. Esta red de dispositivos conectados permite la recopilación, intercambio y análisis de datos en tiempo real, lo que facilita la toma de decisiones, la optimización de procesos y la mejora de la eficiencia operativa.

Los sensores conectados a la red envían datos con la frecuencia requerida a sistemas centralizados o a la nube, donde es posible analizarlos para identificar patrones, detectar anomalías o predecir fallos. Esto no solo mejora la eficiencia y la productividad, sino que también reduce costos y tiempos de inactividad.

Para el caso descripto se propone implementar una solución de identificación de productos en proceso utilizando códigos de barras. A cada producto se le asigna un código de barras único al inicio del proceso de producción. Este código de barras contendrá información sobre el código de producto (2 dígitos), fecha (4 dígitos), hora y minuto de fabricación (4 dígitos). En el momento en que comienza el montaje de un producto se genera una etiqueta autoadhesiva mediante una impresora Zebra o similar. La etiqueta se pega en el chasis del equipo que se está montando y lo lee el primer operario de la línea actualizando la base de datos con la información incluida en el código y, su identificación y la hora de finalización de la tarea. Los códigos de barras pueden leerse en diferentes etapas del proceso. A lo largo de la línea de producción, se instalan escáneres en los puntos donde se realizan las diferentes operaciones que leerán el código de barras y actualizarán la información de la base de datos como en

el primer caso. Esto permite registrar en qué etapa del proceso se encuentra cada producto. Si un producto necesita ser reprocesado debido a un fallo o defecto detectado el código de barras se actualizará con esta nueva información permitiendo un seguimiento continuo del estado del producto.

El sistema de identificación de códigos de barras puede integrarse con un Sistema de Ejecución de Manufactura (MES) para un control exhaustivo de la producción. Esto permite que todos los datos recopilados se almacenen y analicen, facilitando la toma de decisiones en tiempo real.

8. BENEFICIOS DE LA SOLUCIÓN PLANTEADA

Permite rastrear cada producto desde los insumos hasta el producto terminado, incluyendo cualquier etapa de reprocesamiento.

Minimiza los errores humanos en la identificación y clasificación de productos.

Mejora la eficiencia del proceso al permitir una gestión más ágil y precisa de los flujos de trabajo, ya que asegura que se mantenga un control preciso sobre cada producto en cada fase del proceso de fabricación, mejorando tanto la trazabilidad [5] como la calidad del producto final.

A partir de los datos recopilados en la base se puede calcular el OEE (*Overall Equipment Effectiveness* o Eficiencia Global de los Equipos) [6], que es una forma eficaz de medir la eficiencia de una máquina, una línea de producción o la planta completa. En el contexto de una solución de identificación de productos en proceso que utiliza códigos de barras, el OEE puede calcularse considerando tres factores clave: Disponibilidad, Rendimiento y Calidad [7].

$$OEE = Disponibilidad \times Rendimiento \times Calidad \quad (1)$$

La disponibilidad mide cuánto tiempo estuvo realmente disponible la máquina o el proceso para producir en comparación con el tiempo programado.

$$Disponibilidad = T_O / T_P \quad (2)$$

Siendo:

T_O el Tiempo de operación real o tiempo en que la máquina estuvo en funcionamiento.

T_P el Tiempo Programado, o tiempo total disponible para la producción.

En este caso, se debe considerar el tiempo que la máquina estuvo en producción, incluyendo posibles tiempos de reprocesamiento.

El rendimiento mide la velocidad a la que se produce en comparación con la capacidad máxima teórica.

$$Rendimiento = C_R / C_T \quad (3)$$

Siendo:

C_R la cantidad real producida**,** o el número total de unidades producidas

C_T la cantidad teórica máxima, o número de unidades que deberían haberse producido en ese tiempo, basado en la capacidad teórica de la máquina.

Calidad

La calidad mide la proporción de productos que cumplen con las especificaciones respecto al total de productos fabricados.

$$Calidad = U_B / U_T \quad (4)$$

Siendo:

U_B la cantidad de unidades buenas o productos que cumplen con las especificaciones sin necesidad de reprocesamiento.

U_T el total de unidades producidas, que incluye todas las unidades, tanto las buenas como las defectuosas que requieren reprocesamiento.

Un OEE menor al 100% significa que el sistema está funcionando por debajo de su capacidad óptima. Este indicador revela oportunidades de mejora en disponibilidad, rendimiento y calidad, y permite tomar decisiones informadas para optimizar el proceso.

9. ANÁLISIS DE OEE CON PROCESO CORREGIDO

A continuación, aplicaremos la solución propuesta, para dimensionar cuál es el efecto de considerar los retrabajos como tiempo improductivo. En este sentido, mismo si el operario está trabajando y aprovechando su tiempo en planta en transformar semielaborado en producto terminado, a nivel de la operación general consideraremos que no debe impactar como tiempo operativo (TO), ya que es una tarea no deseada.

Tabla 2 Resultados operativos 2023 corregidos

Mes	UN plan	UN realizadas	UN capacidad	Suma de TO	MNTO	ABAS	RETRAB	Suma Fallas	% Tasa paros MNTO	% Eficiencia
2023	**51.023**	**45.017**	**61.907**	353.846	**7.457**	**26.708**	**64.288**	**98.453**	**23,55%**	74%
1	2.782	2.555	6.493	31.046	702	2.365	5.914	8.981	24,30%	77%
2	3.346	2.648	4.719	24.614	215	1.695	2.287	4.196	15,60%	72%
3	3.480	2.985	6.565	28.155	1.133	2.083	5.165	8.380	25,15%	73%
4	4.101	3.522	5.148	28.522	1.106	2.143	6.050	9.300	26,90%	71%
5	1.914	1.693	2.771	25.372	470	1.723	5.952	8.144	26,00%	71%
6	5.947	5.497	6.136	27.123	571	2.062	4.600	7.233	22,80%	79%
7	6.194	5.407	6.486	38.693	844	3.283	8.208	12.335	26,30%	72%
8	4.212	3.755	4.360	35.137	284	2.640	5.484	8.409	20,70%	77%
9	5.310	4.932	5.490	32.573	861	2.059	4.867	7.788	20,80%	81%
10	6.114	5.185	6.178	33.327	1.130	2.339	5.652	9.121	23,40%	73%
11	5.147	4.758	5.127	28.753	248	3.017	6.745	10.010	28,20%	75%
12	2.476	2.080	2.434	20.073	96	1.434	3.824	5.353	22,40%	71%

Los resultados obtenidos son alarmantes, pasando de un OEE de *TABLA 1* del 88% anual a 12 puntos menos en *TABLA 2* del 74%.

10. CONCLUSIONES

Demostramos en el presente trabajo, que conceptualizar la operación de planta desde el punto de vista del tiempo de trabajo del operario es un error, que deriva en no tomar acciones correctivas sobre los efectos contrarios de destinar mano de obra a retrabajos, con su respectiva pérdida económica originados por horas de mano de obra directa no productiva en los resultados de la empresa.

Una vez corregida la configuración de la aplicación de registro de fallas vinculada a IIOT como facilitador de trazabilidad de operaciones, en conjunto con las etiquetas de código de barra, se registraron a nivel anual 64.288 minutos imputados a tareas no productivas en el puesto TIPO B, distribución por producto, lo que se tradujo en corregir la lectura de OEE del 88% al 74%.

La forma de solucionar el inconveniente fue notificar a la aplicación IIOT con un evento de retrabajo, al destinar tiempo de mano de obra directa en este sentido y ajustar las fórmulas de cálculo para diferenciar dos rendimientos: la tasa de ocupación del operario, y la tasa de rendimiento de planta por el otro, en donde la primera toma como válido el uso de tiempo para realizar retrabajo y la segunda lo resta del numerador del KPI (OEE).

La forma de identificar un producto en estado bueno continuo, y en estado retrabajo fue asociar dichos estados al número de serie vinculados al código de barras (único).

De no haber efectuado las correcciones mencionadas, el accionar sobre la eliminación del origen de generación de retrabajos se hubiese dilatado, asumiendo que la salud de la operación se encontraba dentro de valores aceptables.

Frente a la nueva lectura del OEE, se evidenciaron las falencias operativas y el margen de mejora en búsqueda de la optimización de los resultados.

11. REFERENCIAS

1. Ng Corrales, L. D. C., Lambán, M. P., Hernandez Korner, M. E., & Royo, J. (2020). Overall equipment effectiveness: Systematic literature review and overview of different approaches. *Applied sciences*, *10*(18), 6469.
2. Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of production economics*, *204*, 383-394.
3. Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International journal of production economics*, *210*, 15-26.
4. Tao, F., Qi, Q., Wang, L., & Nee, A. Y. C. (2019). Digital twins and cyber–physical systems toward smart manufacturing and industry 4.0: Correlation and comparison. *Engineering*, *5*(4), 653-661.
5. Schuitemaker, R., & Xu, X. (2020). Product traceability in manufacturing: A technical review. *Procedia cirp*, *93*, 700-705.
6. Ng Corrales, L. D. C., Lambán, M. P., Hernandez Korner, M. E., & Royo, J. (2020). Overall equipment effectiveness: Systematic literature review and overview of different approaches. *Applied sciences*, *10*(18), 6469.
7. Ullah, M. R., Molla, S., Siddique, I. M., Siddique, A. A., & Abedin, M. M. (2023). Optimizing performance: a deep dive into overall equipment effectiveness (OEE) for operational excellence. *Journal of industrial mechanics*, *8*(3), 26-40.

" APLICACIÓN DEL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO (AHP) PARA LA SELECCIÓN DE PROVEEDORES NACIONALES DEL SECTOR AERONÁUTICO"

Tavella, Demián Andrés – Miropolsky, Ariel – Manera, Roxana

Facultad Regional Córdoba, Universidad. Tecnológica Nacional
demitavella@hotmail.com;

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es adaptar y aplicar el método multicriterio Proceso Analítico Jerárquico, conocido como AHP por sus siglas en inglés, a fin de desarrollar un modelo integral para la toma de decisiones que permita llevar adelante la selección de proveedores aeronáuticos nacionales para diferentes proyectos de la industria aeronáutica de Córdoba. Teniendo en cuenta que este proceso adquiere vital importancia en la gestión de la cadena de suministros y gestión de operaciones de una organización.

Para ello, se aplicará la técnica en dos casos reales de desarrollo de productos aeronáuticos para varios proveedores nacionales. En donde, en una primera instancia, se realizará un estudio del estado del arte de la industria aeronáutica argentina y del método multicriterio seleccionado. Luego, se determinarán aquellos criterios esenciales a partir de los cuales se evaluaron los candidatos a proveer un producto aeronáutico. A continuación, se seleccionaron dos casos de estudio, de características diferentes, y se aplicó la técnica. Por último, se establecieron ventajas y desventajas del método en base a los resultados obtenidos.

Como conclusión, se buscó establecer la viabilidad de aplicación de esta técnica para el caso de selección de proveedores y se plantearon recomendaciones para la institución elegida respecto a un modelo de toma de decisiones para la selección de proveedores aeronáuticos nacionales, que puedan ser extrapolados a otras industrias de características similares.

Palabras Claves: Método Multicriterio, Cadena de suministro, Selección de proveedores, Aeronáutica, Sustentabilidad

ABSTRACT

The objective of this work is to adapt and apply the multi-criteria Analytical Hierarchical Process method, known as AHP, in order to develop an integral model for decision making to carry out the selection of national aeronautical suppliers for different projects of the aeronautical industry of Cordoba. Taking into account that this process is of vital importance in the management of the supply chain and operations management of an organization.

For this purpose, the technique will be applied in two real cases of aeronautical product development for several national suppliers. In the first instance, a state of the art study of the Argentine aeronautical industry and the selected multicriteria method will be carried out. Then, the essential criteria from which to evaluate the candidates to supply an aeronautical product will be determined. Then, two case studies, with different characteristics, will be selected and the technique will be applied. Finally, advantages and disadvantages of the method will be established based on the results obtained.

In conclusion, the aim is to establish the feasibility of applying this technique to the case of supplier selection and to make recommendations for the chosen institution regarding a decision-making model for the selection of national aeronautical suppliers, which can be extrapolated to other industries with similar characteristics.

Keywords: Multicriteria Method, Supply Chain, Supplier Selection, Aeronautics, Sustainability

1. INTRODUCCIÓN

La actividad aeronáutica en Argentina se remonta a más de un siglo, comenzando en 1907 con los vuelos en globos aerostáticos y ganó importancia en el sector militar con la creación de la Fábrica Militar de Aviones, en la ciudad de Córdoba en 1927, que se convirtió con el tiempo en un referente industrial del país y de Sudamérica (Ministerio de Defensa, 2022). Sin embargo, factores históricos, económicos y políticos afectaron negativamente la capacidad de producción y el conocimiento en el sector. Para revertir esta tendencia, se promulgó la Ley 27.565 en 2020, creando el Fondo Nacional de la Defensa (FONDEF), destinado a financiar el reequipamiento de las Fuerzas Armadas y fomentar la industria nacional (Gobierno de Argentina, 2020).

El desafió entonces es desarrollar un modelo de selección de proveedores que permita aprovechar los impulsos del FONDEF, además, en este punto resulta importante que el sistema de aprovisionamiento sea sustentable, entiéndase esto como aquellas operaciones de grandes volúmenes realizadas por grandes empresas y organismos estatales y/o de gobierno que tienen en cuenta criterios ambientales y sociales para evaluar y seleccionar sus adquisiciones (Peinado-Vara, 2011)

En este contexto la Fabrica Argentina de Aviones “Brig. San Martín” (FAdeA) juega un papel clave en este proceso, colaborando con PYMEs locales para sustituir importaciones de materiales aeronáuticos (Ministerio de Defensa, 2022).

En base a lo anterior, se decidió tomar como caso testigo los proyectos de FAdeA, ya que potenciados con la implementación del FONDEF, tiene la posibilidad de contratar proveedores locales que suministren materiales aeronáuticos que históricamente fueron adquiridos en el exterior.

Uno de los métodos que mejor se adaptaría a este escenario, está relacionado a las técnicas multicriterio, también conocidas como de lógica difusa, pues su análisis se basa fundamentalmente en aspectos cualitativos, además de los cuantitativos, pudiendo incluir una gran cantidad y variabilidad de parámetros que luego serán evaluados pertinentemente. Dentro de estos, se destaca el método de Proceso Analítico Jerárquico (AHP), siendo uno de los de mayor aplicación en la actualidad.

2. MÉTODOS MULTICRITERIOS

2.1 Método de Proceso Analítico Jerárquico (AHP)

El AHP, mediante la construcción de un modelo jerárquico, permite de una manera eficiente y gráfica organizar la información respecto de un problema, descomponerla y analizarla por partes, visualizar los efectos de cambios en los niveles y sintetizar.

El AHP “trata de desmenuzar un problema y luego unir todas las soluciones de los sub problemas en una conclusión” (Saaty, 1980) (Martinez Rodriguez, 2007).

El AHP se fundamenta en:

- La estructuración del modelo jerárquico (representación del problema mediante identificación de meta, criterios, sub-criterios y alternativas);
- Priorización de los elementos del modelo jerárquico;
- Comparaciones binarias entre los elementos;
- Evaluación de los elementos mediante asignación de pesos;
- Ranking de las alternativas de acuerdo con los pesos dados;
- Síntesis;
- Análisis de Sensibilidad.

El AHP es una herramienta metodológica que ha sido aplicada en varios países para incorporar las preferencias de actores involucrados en un conflicto y/o proceso participativo de toma de decisión.

2.1.1 Axiomas Básicos

Los axiomas básicos en los que se basa la teoría AHP (García Cascales, 2009) son:

- Axioma de comparación recíproca: El decisor debe ser capaz de realizar comparaciones y establecer la fuerza de sus preferencias, satisfaciendo la condición recíproca: "Si A es x veces preferido que B, entonces B es 1/x veces preferido que A".
- Axioma de homogeneidad: "Las preferencias se representan por medio de una escala limitada".

- Axioma de independencia: "Cuando se expresan preferencias, se asume que los criterios son independientes de las propiedades de las alternativas".
- Axioma de las expectativas: "Para el propósito de la toma de una decisión, se asume que la jerarquía es completa".

2.1.2 Base metodológica

Este proceso se fundamenta en varias etapas. La formulación del problema de decisión en una estructura jerárquica es la primera y principal etapa. Esta etapa es en la que el decisor involucrado debe lograr desglosar el problema en sus componentes relevantes. La jerarquía básica está conformada por: meta u objetivo general, criterios y alternativas. La jerarquía se construye de modo que los elementos de un mismo nivel sean del mismo orden de magnitud y puedan relacionarse con algunos o todos los elementos del siguiente nivel. En una jerarquía típica el nivel más alto localiza el problema de decisión (objetivo). Los elementos que afectan a la decisión son representados en los inmediatos niveles, de forma que los criterios ocupan los niveles intermedios, y el nivel más bajo comprende a las opciones de decisión o alternativas. Este tipo de jerarquía ilustra de un modo claro y simple todos los factores afectados por la decisión y sus relaciones. En la siguiente figura se muestra un esquema del modelo jerárquico (Martinez Rodriguez, 2007).

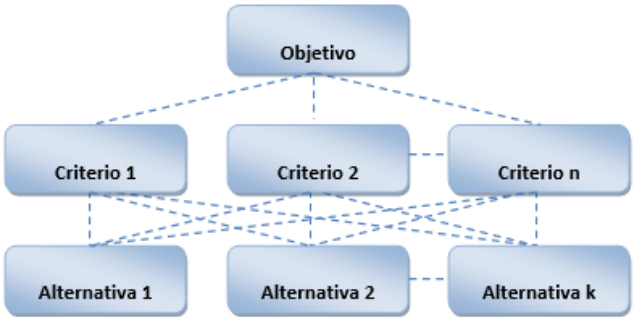


Figura 1 Esquema de modelo jerárquico (García Cascales, 2009)

La jerarquía resultante debe ser completa, no redundante y mínima (no debe incluir aspectos no relevantes). Su construcción es la parte más creativa del proceso y requiere de un consenso entre todas las partes implicadas en el proceso de decisión.

Una vez construida la estructura jerárquica del problema se da paso a la segunda etapa del proceso de AHP: la valoración de los elementos.

El decisor debe emitir sus juicios de valor o preferencias en cada uno de los niveles jerárquicos establecidos. Esta tarea consiste en una comparación de valores subjetivos «por parejas» (comparaciones binarias); es decir, el decisor tiene que emitir juicios de valor sobre la importancia relativa de los criterios y de las alternativas, de forma que quede reflejado la dominación relativa, en términos de importancia, preferencia o probabilidad, de un elemento frente a otro, respecto de un atributo, o bien, si estamos en el último nivel de la jerarquía, de una propiedad o cualidad común. El AHP permite realizar las comparaciones binarias basándose tanto en factores cuantitativos (aspectos tangibles) como cualitativos (aspectos no tangibles), ya que presenta su propia escala de medida: la escala 1-9 propuesta por Saaty y recogida en el cuadro que se presenta más abajo.

Tabla 1 Escala fundamental de comparación pareada (García Cascales, 2009)

Intensidad	*Definición*	*Explicación*
1	Igual importancia.	Los dos elementos contribuyen igualmente a la propiedad o criterio.
3	Moderadamente más importante un elemento que en otro.	El juicio y la experiencia previa favorecen a un elemento frente al otro.
5	Fuertemente más importante un elemento que en otro.	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente al otro.

7	Mucho más fuerte la importancia de un elemento que la del otro.	Un elemento domina fuertemente. Su dominación está probada en práctica.
9	Importancia extrema de un elemento frente al otro.	Un elemento domina al otro con el mayor orden de magnitud posible.
2,4,6,8	Valores intermedios.	Cuando se necesita un compromiso de las partes entre valores subyacentes.

El decisor puede expresar sus preferencias entre dos elementos verbalmente y representar estas preferencias descriptivas mediante valores numéricos.

De esta forma cuando dos elementos sean igualmente preferidos o importantes el decisor asignará al par de elementos un «1»; moderadamente preferido se representa por «3», fuertemente preferido por «5» y extremadamente preferido por «9». Los números pares se utilizan para expresar situaciones intermedias.

El resultado de estas comparaciones es una matriz cuadrada, recíproca y positiva, denominada «Matriz de comparaciones pareadas», de forma que cada uno de sus componentes reflejen la intensidad de preferencia de un elemento frente a otro respecto del atributo considerado.

Una vez formadas las matrices de comparación, el proceso deriva hacia la tercera etapa, la fase de priorización y síntesis. El objetivo de esta etapa es calcular la prioridad de cada elemento, entendida esta prioridad tal y como la definió Saaty en 1980: «Las prioridades son rangos numéricos medidos en una escala de razón. Una escala de razón es un conjunto de números positivos cuyas relaciones se mantienen igual si se multiplican todos los números por un número arbitrario positivo. El objeto de la evaluación es emitir juicios concernientes a la importancia relativa de los elementos de la jerarquía para crear escalas de prioridad de influencia» (Martinez Rodriguez, 2007).

En un problema jerarquizado, como el que se presenta podemos definir distintos tipos de prioridades: locales, globales y totales. Las prioridades locales son las que «cuelgan» de un mismo nodo y se calculan directamente a partir de la información recogida en las matrices de comparación. Existen distintos procedimientos matemáticos para calcular un vector de pesos relativos asociado a un nivel, vector que debe expresar la importancia relativa de los elementos considerados en ese nivel. El procedimiento propuesto por Saaty para su obtención es el método del auto vector principal por la derecha.

Las prioridades globales son las prioridades de cada nodo de la jerarquía respecto al nodo inicial (objetivo). El AHP las calcula utilizando el principio de composición jerárquica. Por último, la prioridad total de las alternativas comparadas se obtiene mediante la agregación de las prioridades globales (forma lineal multi aditiva). La prioridad total nos permitirá realizar la síntesis del problema, esto es, ordenar el conjunto de alternativas consideradas y seleccionar las más indicadas para conseguir el objetivo propuesto.

Un aspecto que debemos cuidar es que el resultado debe ser consistente con las preferencias manifestadas por el decisor, ya que ésta es una cuestión que afecta directamente a la calidad de la decisión final. El AHP permite evaluar la consistencia del decisor a la hora de introducir los juicios de valor en la matriz de comparaciones pareadas mediante el indicador «Razón de Consistencia».

La última etapa de este proceso, es el denominado análisis de sensibilidad. El resultado al que se llega en la etapa anterior es altamente dependiente de la jerarquía establecida por el decisor y por los juicios de valor que realiza sobre los diversos elementos del problema.

Cambios en la jerarquía sobre estos juicios pueden conducir a cambios en los resultados. La utilización de un software de apoyo (Super decisions CDF) permite analizar de forma rápida y sencilla la sensibilidad de los resultados (decisión) a los diferentes cambios posibles, permitiendo analizar el problema en escenarios distintos.

2.1.3 Aplicación de software Super Decision CFS

El Super Decisions es un software de soporte de decisiones que implementa AHP y ANP. Es el único software educativo gratuito que implementa AHP y ANP y fue desarrollado por el equipo del creador del método, Thomas Saaty. Su desarrollo y mantenimiento está patrocinado por Creative Decisions Foundation. (Super decisions CFS, 2023)

La Creative Decisions Foundation fue establecida en 1996 por Thomas L. Saaty y su esposa Rozann Whitaker Saaty, con el concepto de fundación con el propósito de educar a las personas en el mundo para ayudarlos a tomar decisiones más racionales.

Este software proporciona herramientas para crear y administrar modelos AHP y ANP, ingresar sus juicios, obtener resultados y realizar análisis de sensibilidad en los resultados. También proporciona soporte para modelos BOCR complejos y multinivel (Beneficios - Oportunidades - Costos - Riesgos). (Super decisions CFS, 2023).

3. SELECCIÓN DE CRITERIOS PARA MODELOS DE DECISIÓN

Para lograr definir los principales criterios para la selección de proveedores que luego fueron incorporados en el AHP se llevó adelante una entrevista a actores claves de la empresa FAdeA SA.

La entrevista fue de tipo semi-estructurada, con un total de 15 preguntas iguales para todos, algunas de carácter cerrado y otras abiertas, con el objetivo de que los consultados explayen su punto de vista y experiencias que pueden ser enriquecedoras para este estudio.

El motivo de elección de este tipo de entrevista versus la no-estructurada es que permite un mayor grado de comparación entre visiones paralelas y la posibilidad de darle una capacidad de medición a ciertas variables subjetivas, es decir permite recoger datos para describir cuantitativamente una determinada situación social que no se conoce lo suficiente como para usar un cuestionario clásico de preguntas cerradas, además de que los entrevistados están poco acostumbrados al lenguaje abstracto y científico de este tipo de estudio, pudiendo mediante este tipo de herramienta sobrellevar estas dificultades. (Corbetta, 2007)

Respecto a la entrevista estructurada, la ventaja es que permite plantear interrogantes que tienen como propósito la mejor comprensión del problema, mediante la restructuración de las preguntas y rearmado de contextos en la indagación con mayor profundidad. (Rodríguez Pérez, Guerrero Godoy, Varon Arciniega, & Baron-Velandia, 2021)

En base a las entrevistas realizadas, se decidió tener en cuenta 10 criterios para evaluación de los casos presentados:

- Propuesta técnica: Se entiende por la robustez de la propuesta detallada de cómo va a realizar el producto, pieza o componente, presentada por el proveedor. Para evaluar la misma se tiene en cuenta que atienda la especificación técnica compartida, además del nivel de detalle de soluciones que presente.
- Cronograma: Se refiere al tiempo de ejecución de la pieza o elemento que se busca contratar. La misma puede incluir varias etapas intermedias, como puede ser aprobación sobre el concepto a realizar, aprobación y validación final del diseño a fabricar, diferentes validaciones durante el proceso de fabricación, puntos de medición y control, etapas de ajuste, envío del material, piezas o elementos, entre otros
- Capacidad de producción y proceso de fabricación: Hace referencia entre otras cosas a la capacidad instalada y capacidad ociosa, tecnologías y maquinarias disponibles, procesos productos posibles de realizar en las instalaciones del potencial proveedor.
- Certificaciones y calificaciones: Hace referencia a las certificaciones y calificaciones que dispone el proveedor, buscando como ideal que todos los proveedores estén evaluados bajo la norma AS9100, que es la que certifica que una organización diseña, desarrolla y proporciona productos y servicios de aviación, espacio y defensa.
- Experiencia – Know How del proveedor: Siempre se busca que el proveedor a contratar haya tenido experiencia o con alguna organización del rubro aéreo o aeroespacial, o que conozca y haya trabajado con la tecnología o producto buscado.
- Compromiso ante consultas: Se entiende que este punto está ligado al compromiso que tiene el proveedor para atender las diferentes consultas técnicas ante los avances y puntos críticos que debería cumplir el proveedor.
- Precios: Se considera al precio ofrecido por el proveedor. El precio ideal será mejor al precio objetivo o target establecido por el equipo de programa para el proyecto.
- Forma de Pago: Se considera la forma de pago del material, pudiendo ir desde 100% (cien por ciento) anticipado, hasta todo diferido posterior a la entrega del producto.

- Relación Comercial: Hace referencia a la relación que existe entre una organización y los proveedores. Si bien es similar al punto “compromiso ante las consultas” esto punto tiene en cuenta cuestiones comerciales, logísticas y de calidad.
- Salud financiera: En este punto se tiene en cuenta la capacidad financiera para asumir compromisos ante futuras compras. El mismo sale de una evaluación realizada en base a los balances, estado de resultados, informe de deuda del BCRA, informe del veraz, entre otros. Lo ideal es encontrar un proveedor solvente para afrontar futuros compromisos que implicará grandes erogaciones de dinero.

4. CASO DE ESTUDIO

Como caso de estudio se seleccionaron dos desarrollos realizados en la empresa testigo, que involucran la selección de proveedores a saber:

- Compra de la bancada de motor para el avión IA100B.
- Compra del utillaje o dispositivo de armado del grupo empenaje del avión IA100B, compuesto por los dispositivos para armado del estabilizador horizontal y timón de profundidad.

4.1 Caso Bancada motor

La bancada es el órgano que constituye la parte inferior del motor de cualquier tipo, sirve de soporte para las piezas en movimiento y de muro de contención para el aceite lubricante.

La bancada del motor, es definida en función del tipo de motor a utilizar y la configuración que el diseñador adopta en cada caso. De manera particular una bancada debe ser diseñada en función de los requerimientos definidos para su uso en cada aeronave. Estos requerimientos estructurales y conceptuales varían según la normativa aplicada. (Pergolini, 2015).

Lo importante a definir aquí son los participantes del estudio que para el método serán las diferentes alternativas evaluadas. Para este caso, en total se invitaron a 6 proveedores diferentes, todos nacionales, que se indicarán con los siguientes nombres de fantasía, debido al concepto de confidencialidad que existe con la empresa testigo.

- Proveedor H
- Proveedor C
- Proveedor PG
- Proveedor Con
- Proveedor DA
- Proveedor AWI

4.2 Caso Dispositivo de Armado del Grupo Empenaje del Avión

Se llama ‘empenaje de cola’ de un avión al conjunto de planos de control, o estabilizadores, que se encuentran en la parte trasera de una aeronave. Es decir, cuando hablamos de ‘empenaje’, nos referimos a la estructura formada por los elementos de estabilización, sobre todo planos de profundidad y derivas. (One Air, s.f.). El empenaje incluye el grupo de cola entera y se compone en términos generales de superficies fijas, como el estabilizador vertical y el estabilizador horizontal y superficies móviles entre las que se encuentran el timón de dirección, el elevador o timón de profundidad, y uno o más compensadores.

Para este proyecto se invitaron en total a 3 proveedores que se tomaron para realizar la comparativa:

- Proveedor INM
- Proveedor INF
- Proveedor MOS

5. APLICACIÓN DEL PROCESO ANÁLITICO JERÁRQUICO

A continuación, se aplicó el método de jerarquía analítica, también conocido como AHP, para realizar la selección de proveedores.

Cabe destacar que en este caso se utilizó el software Super DecisionsV3.2 (Super decisions CFS, 2023) para Windows.

El motivo de elección del mismo se sustentó en que por un lado facilita el desarrollo del cálculo, ya que el programa solo pide el ingreso de los datos, y da el valor resultante y por el otro, es un software que se basa en los criterios de AHP, mundialmente conocido, con la ventaja de ser de uso libre para aquellos que lo deseen, disponible en: https://www.superdecisions.com

Por estas razones se lo consideró ideal para realizar los estudios de selección de proveedores.

5.1 Aplicación Caso Bancada motor

5.1.1 Planteo del problema

Siendo la meta global “seleccionar proveedor de bancada de motor” se utilizaron iguales factores y alternativas

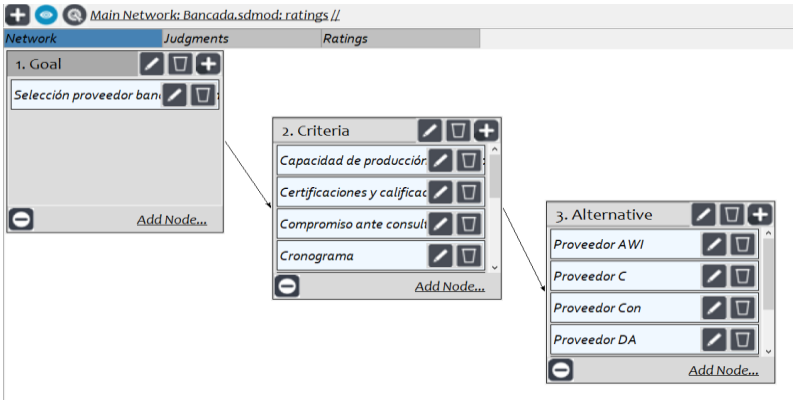


Figura 2: Planteo del problema y modelo de Bancada de Motor

5.1.2 Matriz de comparación por pares

Se procedió a realizar las comparaciones pareadas entre los factores del análisis con el fin de asignar la ponderación correspondiente a cada uno, de los cual surge la matriz de comparaciones de los factores de selección representado en figura 3 y posteriores resultados demostrados la figura 4.

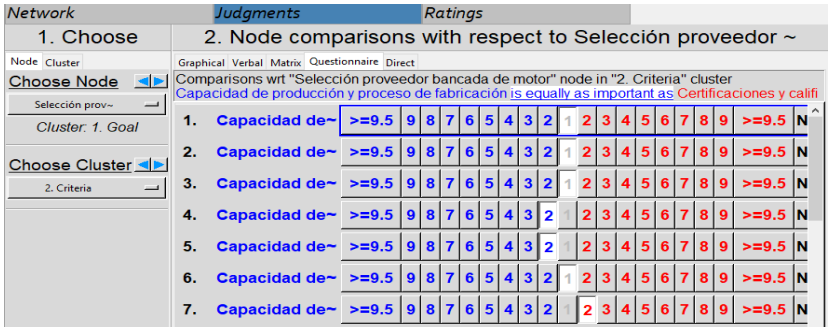


Figura 3: Matriz de comparación de factores de selección respecto del objetivo bancada de motor.

Los resultados obtenidos del análisis de pares se pueden observar en la siguiente figura:

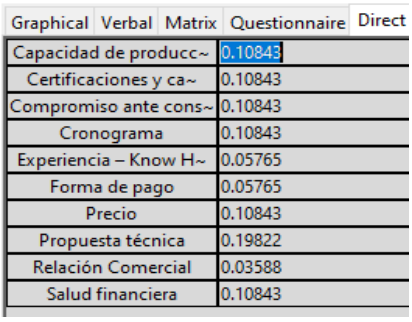


Figura 4: Resultados numéricos matriz de comparación de factores de selección respecto del objetivo bancada de motor.

A su vez el software permite mostrar el resultado del índice de inconsistencia. Recordando que se recomienda que los valores estén por debajo de 0,1 para validar el nivel de consistencia en los juicios emitidos.

Los resultados en forma gráfica para este caso se pueden apreciar en la figura 5.

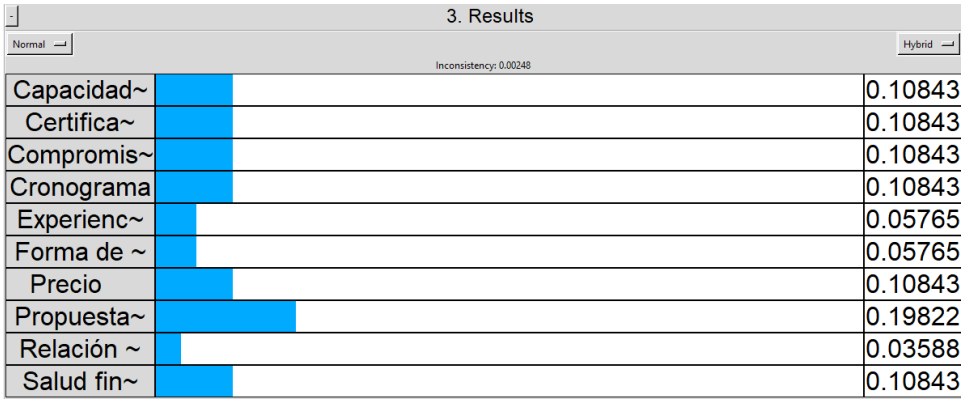


Figura 5: Resultados y nivel de inconsistencia de la matriz de comparación de factores de selección respecto del objetivo bancada de motor

5.1.3 Matriz de comparación de pares por alternativas

Para cada uno de los aspectos a evaluar, se realizó una comparación entre los diferentes proveedores propuestos, basándose en el principio explicado anteriormente.

Así se obtuvieron diez matrices distintas, para cada una de las variables a analizar, con las correspondientes comparaciones de las empresas que se presentaron al proceso de adjudicación para el producto bancada de motor.

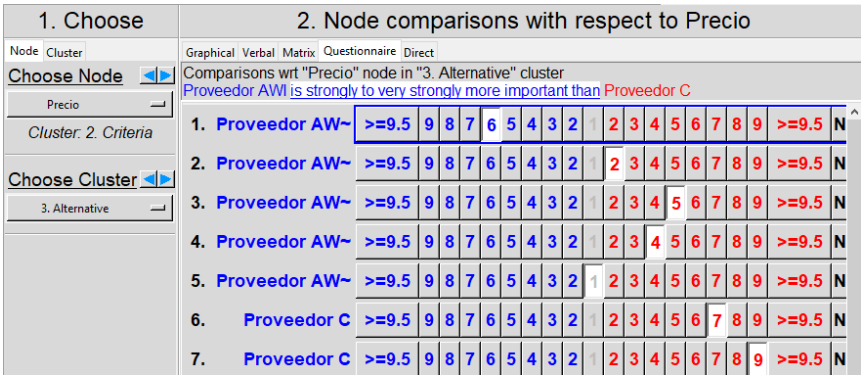


Figura 6: Matriz de comparación de potenciales proveedores respecto del criterio de precio bancada de motor

A su vez cada una de estas matrices arrojó sus correspondientes resultados como se explicó para el caso anterior.

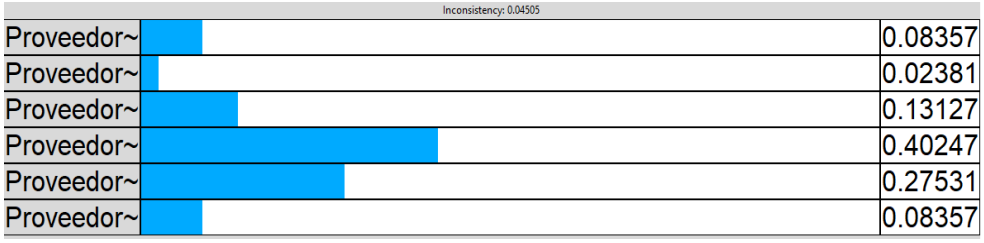


Figura 7: Resultados y nivel de inconsistencia matriz de comparación de potenciales proveedores respecto del criterio de precio bancada de motor

5.1.4 Resolución del problema

Como resultado final del proceso de AHP, se obtuvo un vector de prioridades, el cual contiene las valoraciones finales asignadas a cada factor de selección respecto a la meta global. Posteriormente, se realizó el mismo proceso, pero comparando alternativas respecto de cada factor de selección, del que surge una matriz de comparación para cada uno de los factores intervinientes y luego los vectores de prioridades correspondientes a cada matriz. Con estos últimos y con el vector de prioridad obtenido inicialmente, se obtuvo el resultado final que se expresa en forma gráfico en Figura8.

Name	Graphic	Ideals	Normals
Proveedor AWI		0.828711	0.196849
Proveedor C		0.909882	0.216131
Proveedor Con		0.489773	0.116339
Proveedor DA		0.540040	0.128280
Proveedor H		1.000000	0.237537
Proveedor PG		0.441465	0.104864

Figura 8: Resultado del análisis – Selección de proveedor bancada de motor

5.1.5 Toma de decisión

Del análisis de la matriz de comparación por pares surgió con claridad, que de los proveedores que se presentaron para la fabricación de bancada de motor, el identificado como proveedor H, se destaca sobre los demás con una calificación de 0,237537 o 23,75%. Así mismo, se evidencia como menos adecuado el proveedor PG, pues su calificación alcanza solamente el 0,1048642 o 10,49%. En términos de comparaciones si el proveedor H se considera como ideal con un porcentaje del 100% el proveedor PG alcanzaría un valor de 44% comparado con H, esto se puede ver en la columna “Ideals” de la figura anterior.

De los otros 4 proveedores se observa un valor similar en las posiciones 2 y 3, siendo el segundo mejor el proveedor C, con 21,61% y lo sigue el proveedor AWI con 19,68%. Por otra parte, el proveedor DA se ubica en la cuarta posición con un 12,83% y por último en quinto lugar el proveedor Con 11,63%.

En conclusión, se recomendó seleccionar el proveedor H para adjudicar el proyecto bancada de motor. En caso que este proveedor muestre deficiencias durante el proceso de fabricación se debería contemplar en un primer lugar al proveedor C y luego al proveedor AWI.

5.2 Aplicación en caso dispositivo de armado de empenaje de cola

5.2.1 Planteo del problema

Siendo la meta global “seleccionar proveedor de dispositivo de armado de empenaje de cola” se utilizaron iguales factores y alternativas.

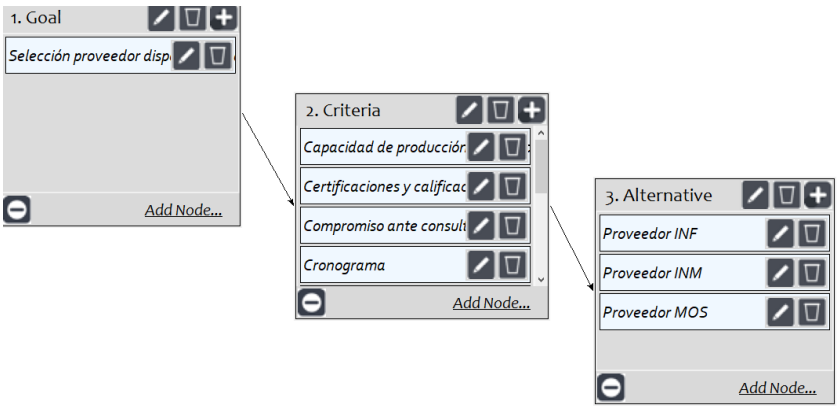


Figura 9: Planteo del problema y modelo de dispositivo de armado de empenaje de cola

5.2.2 Matriz de comparación por pares

Se procedió a realizar las comparaciones pareadas entre los factores del análisis con el fin de asignar la ponderación correspondiente a cada uno, de los cual surge la matriz de comparaciones de los factores similar a la mostrada para el caso anterior.

A su vez el software permite mostrar el resultado del índice de inconsistencia. Recordando que se recomienda que los valores estén por debajo de 0,1 para validar el nivel de consistencia en los juicios emitidos.

Los resultados en forma gráfica para este caso se pueden apreciar en la siguiente figura.

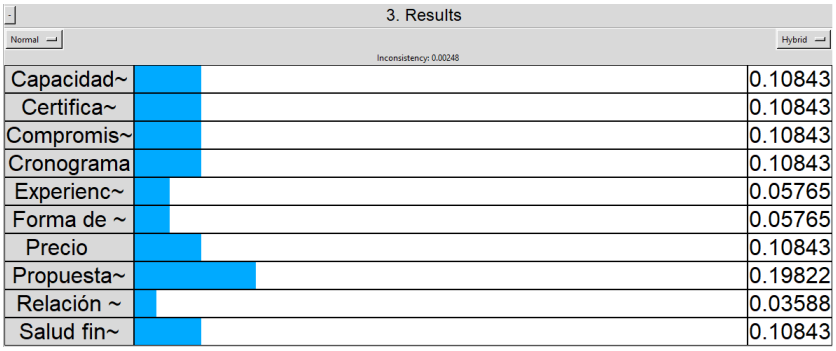


Figura 10: Resultados y nivel de inconsistencia de la matriz de comparación de factores de selección respecto del objetivo dispositivo de armado de empenaje de cola.

5.2.3 Matriz comparación por pares de las alternativas

Para cada uno de los aspectos a evaluar, se realizó una comparación entre los diferentes proveedores propuestos, basándose en el principio explicado anteriormente.

Así se obtuvieron nuevamente diez matrices distintas, para cada una de las variables a analizar, con las correspondientes comparaciones de las empresas que se presentaron al proceso de adjudicación para el dispositivo de armado del empenaje de cola. A su vez cada una de estas matrices arrojará sus correspondientes resultados como se explicó para el caso anterior.

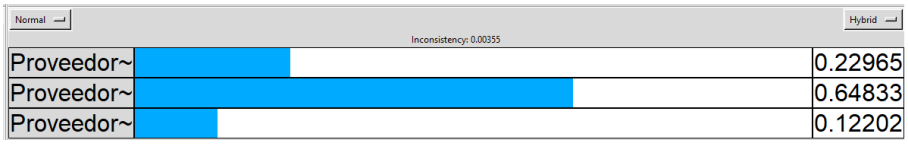


Figura 11: Resultados y nivel de inconsistencia matriz de comparación de potenciales proveedores respecto del criterio de cronograma dispositivo de armado de empenaje de cola.

5.2.4 Resolución del problema

Como resultado final del proceso de AHP, se obtuvo un vector de prioridades, el cual contiene las valoraciones finales asignadas a cada factor de selección respecto a la meta global. Posteriormente, se realizó el mismo proceso, pero comprando alternativas respecto de cada factor de selección, del que surge una matriz de comparación por cada uno de los factores intervinientes y luego los vectores de prioridades correspondientes a cada matriz. Con estos últimos y con el vector de prioridad obtenido inicialmente, se obtuvo el resultado final que se expresa en forma de gráfico en:

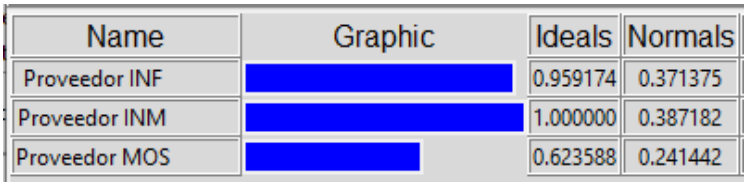


Figura 12: Resultado del análisis – Selección de proveedor de dispositivo de armado de empenaje de cola

5.2.5 Toma de decisión

Del análisis de la matriz de comparación por pares surgío que hay dos proveedores que tienen valores muy cercanos y uno que realmente queda fuera de la competencia.

El proveedor con mejor valor resulta ser el proveedor INM que alcanza una calificación de 0,387182 0 38,72%. En segundo lugar, lo sigue el proveedor INF con un puntaje de 0,371375 o 37,14%.

Si tomamos el valor obtenido por INM como un 100%, se puede ver en la columna “Ideals” que el proveedor INF alcanzaría un 95,92% respecto a este 100% lo que muestra valores realmente cercanos entre ambos.

A pesar de ser valores cercanos, se mantiene al proveedor INM como ganador ya que durante todo el análisis el índice de inconsistencia siempre estuvo debajo del 10% en cada uno de los criterios marcados, lo que demuestra un nivel de certeza a la hora de la evaluación de los juicios.

Por último, se muestra el proveedor MOS que alcanza un valor de 24,14%, aunque si lo comparamos con el valor ideal del proveedor INM se considera que este alcanzaría un valor del 62% del mismo.

En conclusión, se recomiendó seleccionar el proveedor INM para adjudicar el proyecto de dispositivo de armado de empenaje de cola. En caso de que este proveedor muestre deficiencias durante el proceso de fabricación se debería contemplar en un segundo lugar al proveedor INF y luego al proveedor MOS.

6. CONCLUSIONES

Luego de haber aplicado la técnica de AHP para dos casos de selección de proveedores de la industria aeronáutica se establece que el mismo posee varias ventajas y desventajas. Algunas de sus ventajas son (Toskano Hurtado, 2005) (Garcia Cascales, 2009):

- El Proceso de jerarquía analítica es una de las pocas técnicas multicriterio que ofrece una axiomática teórica.
- Esta técnica multicriterio es una de las que mejor comportamiento práctico tiene.
- Permite desglosar y analizar el problema por partes.
- Permite medir criterios cualitativos y cuantitativos
- Permite analizar la consistencia de los juicios elaborados, mediante el índice de consistencia.
- Permite realizar un análisis de sensibilidad.
- El AHP proporciona un modelo flexible, único fácilmente comprensible, para una amplia gama de problemas estructurados.
- A través de esta técnica se pueden integrar enfoques deductivos y de sistemas para resolver problemas complejos.
- Mediante este método se refleja la tendencia natural de la mente a clasificar elementos de un sistema en diferentes niveles y a agrupar elementos similares es en cada nivel, es decir de establecer una estructura jerárquica.
- El AHP proporciona una escala para medir imponderables y un método para establecer orden de prioridades.
- Mediante la aplicación del AHP, se logra estimar la conveniencia de cada alternativa.
- Ya que el AHP toma en consideración las prioridades relativas de los factores en un sistema, esto le permite seleccionar la mejor alternativa en virtud de objetivos.
- El proceso de jerarquía analítico no solicita consenso, pero sintetiza un resultado representativo de diversos juicios.
- Mediante la repetición del proceso el AHP permite que la gente afine su definición de un problema y mejore su juicio y comprensión.

A pesar de las ventajas descriptas arriba el método posee algunas desventajas (Garcia Cascales, 2009), ellas son:

- La justificación de la independencia exigida en la modelización jerárquica.
- La escala empleada para expresar los juicios relativos en las comparaciones pareadas, no permite observar el porcentaje del óptimo al que se encuentra la alternativa.
- Por lo expresado anteriormente, pueden surgir problemas para la interpretación de las prioridades totales obtenidas en el procedimiento.
- Los procedimientos de priorización de los elementos mediante el cálculo del auto vector.

- La introducción de una nueva alternativa puede poner de manifiesto alguna inconsistencia en los juicios o hacer variar la estructura de preferencias del decisor.

En términos generales se puede decir que el proceso de jerarquía analítico (AHP) resulta bastante complejo en sus cálculos, pero la disponibilidad de un software gratuito como el “Super DecisionsV3.2” facilita su implementación. Una gran fortaleza del método, es la posibilidad del cálculo del índice de consistencia, lo que permite medir el grado de inconsistencia de los juicios emitidos por el evaluador, ayudando a aquellos que sean poco experimentados en esta actividad.

En función a lo anterior, se puede destacar que el método se adapta a los estudios de selección, ya que permiten incluir en el estudio múltiples variables, necesarias para realizar un estudio de selección de proveedores.

Además, podrá ser extrapolado luego a otros proyectos de la industria de la Defensa Nacional, como también a proyectos civiles que impliquen la selección de proveedores en un proceso multivariable.

7. REFERENCIAS.

Corbetta, P. (2007). Metodologia y técnicas de investigación social. Madrid: Mc Graw- Hill.

Garcia Cascales, M. (2009). Métodos para la comparación de alternativas mediante un Sistema de Ayuda a la Decisión (S.A.D.) y "Soft Computing". Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cartagena, Departamento de Electrónica, Tecnología de Computadoras y proyectos, Cartagena.

García Cascales, M. (2009). Métodos para la comparación de alternativas mediante un Sistema de Ayuda a la Decisión (S.A.D.) y "Soft Computing". Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cartagena, Departamento de Electrónica, Tecnología de Computadoras y proyectos, Cartagena.

Gobierno de Argentina. (2020). Fondo Nacional de la Defensa - Ley 27565. Obtenido de Boletín Oficial de la República Argentina: https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/235602/20201001

Martinez Rodriguez, E. (2007). Aplicación del proceso jerárquico de análisis en la selección de la localización de una pyme. (R. C. Universitario, Ed.) Anuario Jurídico y Económico Escurialense, 19.

Ministerio de Defensa. (Mayo de 2022). Nuestra Historia. Obtenido de Fuerza Aérea Argentina: https://www.argentina.gob.ar/fuerzaaerea/nuestra-historia

One Air. (s.f.). El empenaje de cola en un avión: ¿Sabías que hay muchos tipos diferentes? Recuperado el 10 de Diciembre de 2022, de One Air Web site: https://www.oneair.es/empenaje-de-cola-aviones/

Peinado-Vara, E. (2011). Cap. 7 RSE, grandes compradores y la cadena de valor. En E. Peinado-Vara, Vives, & A, La responsabilidad social empresaria en América Latina. Washington D.C.: Peinado-Vara, E; Vives; A.

Pergolini, A. M. (20 de mayo de 2015). Diseño y Dimensionamiento de una Bancada Motor. Obtenido de Trabajo Final de Grado - Instituto Universitario Aeronático: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/TFG_Pergolini.pdf

Rodríguez Pérez, J. A., Guerrero Godoy, R. S., Varon Arciniega, V., & Baron-Velandia, B. (25 de Marzo de 2021). Transformaciones de las prácticas pedagógicas de los profesionales no licenciados. (U. P. Libertador, Ed.) Educare. Obtenido de http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/375/3752262008/html/

Saaty, T. (1980). The analytic hierarchy process. McGraw-Hill.

Super decisions CFS. (2023). Tutorials. Obtenido de https://www.superdecisions.com/tutorials/

Toskano Hurtado, G. B. (2005). El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como Herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores. Monografía, Universidad Nacional de San Marcos, Facultad de Ciencias Matemáticas E.A.P Investigación Operativa, Lima.

"MODELACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE EN LA ESTIMACIÓN DE VENTAS"

Ruano-Castañeda, Hugo Ivan[1]; Garcia-Huerta, Ana Lizbeth[1]; Castillo-Roldán, Sindy Damaris[1]; Montalvo-Romero, Nayeli[2]; Montiel-Rosales, Aarón[1*]

Tecnológico Nacional de México / ITS de Teziutlán [1]
m23te0007@teziutlan.tecnm.mx; m23te0005@teziutlan.tecnm.mx; m23te0043@teziutlan.tecnm.mx
Tecnológico Nacional de México / ITS de Misantla [2]
naiemontalvor@gmail.com
ar.chimedes@hotmail.com

RESUMEN

La estimación precisa del comportamiento de las ventas de gas L. P., es complejo. Con esta información, la empresa puede tomar decisiones importantes, *e.g.*, programación de la producción, planeación del ruteo vehicular, asignación de recursos humanos y materiales; que, al no ser planeadas de forma adecuada en función de la estimación de las ventas, generan costos e inconformidades por incumplimientos, que afectan a su vez la calidad del servicio y credibilidad, de la empresa gasera. Ante esta necesidad, se ha modelado el comportamiento de las ventas de gas L. P., de una empresa gasera con sede en México. La modelación matemática del comportamiento de las ventas como variable dependiente, considera la interrelación de diversas variables independientes que son modeladas considerando la incertidumbre asociada al comportamiento no determinista de las variables. La modelación matemática y simulación en Monte Carlo, se realizó empleando el software @Risk demo. El estudio realizado mostró que de la estación Vega Redonda se estima una venta de mínimo 1,193 kg y un máximo de 1,924 kg, para el próximo periodo. Entonces, con esta información que considera la incertidumbre asociada al comportamiento variable de las ventas, la asignación de recursos con mayor precisión es posible. Este caso, de modelación y simulación de factores inciertos, muestra la importancia de la consideración de la incertidumbre como parte del proceso de toma de decisiones.

Palabras Claves: toma de decisiones, riesgo, gestión de recursos, estimación, modelación matemática.

ABSTRACT

The precise estimation of the behavior of L. P. gas sales is complex. With this information, the company can make important decisions, *e.g.*, production scheduling, vehicle routing planning, allocation of human and material resources, which, when not properly planned based on the estimate of sales, generate costs and non-conformities due to non-compliance, which in turn affect the quality of service and credibility of the gas company. In view of this need, the behavior of L. P. gas sales, from a gas company based in Mexico, has been modeled. The mathematical modeling of sales behavior as a dependent variable considers the interrelation of various independent variables that are modeled considering the uncertainty associated with the non-deterministic behavior of the variables. The mathematical modeling and simulation in Monte Carlo were carried out using the @Risk demo software. The study showed that the Vega Redonda station is estimated to sell a minimum of 1,193 kg and a maximum of 1,924 kg for the next period. So, with this information that considers the uncertainty associated with the variable behavior of sales, the allocation of resources with greater precision is possible. This case, of modeling and simulation of uncertain factors, shows the importance of considering uncertainty as part of the decision-making process.

Keywords: decision making, risk, resource management, estimation, mathematical modeling.

1. INTRODUCCIÓN

La incertidumbre, es un fenómeno asociado a todo proceso. Es una realidad, que todo proceso es no estático ni determinista; existen fluctuaciones en las variables, atribuidas a su propia naturaleza. Dicha variabilidad, en ocasiones no es considerada; lo que ocasiona que se generen modelos de decisión imprecisos y desviados de la realidad. Para atenuar esta desventaja, es necesario desarrollar sistemas de apoyo a la decisión, que consideren la incertidumbre asociada a las variables de decisión, de manera que el valor de la variable de interés sea lo más cercana al valor real.

En las organizaciones, una de las variables de interés es la determinación del volumen de ventas. La estimación adecuada, de dicho valor permite realizar una programación eficiente de los recursos y una proyección de la planeación de crecimiento de la organización. El volumen de ventas es un valor que se asocia directamente al valor de la Utilidad Esperada (UE), ante factores inciertos. El estudio de Blumberg (2023), destaca la UE como un concepto clave en la teoría de la decisión, utilizado para medir el beneficio de una acción al multiplicar la utilidad de cada resultado por su probabilidad de ocurrencia, aplicándose en situaciones de incertidumbre para cuantificar el rendimiento de las consecuencias esperadas; aunado a esto Zhang et al. (2020), destaca que el valor esperado puede medir el nivel de error en la toma de decisiones al recopilar nueva información.

En la literatura existen múltiples estudios, que reportan variados enfoques centrados en mejorar el proceso de toma de decisiones a partir de la modelación de la incertidumbre en función del valor de la UE. Liu et al. (2018), analiza la maximización de la utilidad en el comercio electrónico B2C mediante redes de Petri de juego lógico. En (Schipper, 2024), se explora la UE en situaciones de incertidumbre utilizando el bayesianismo inverso para encontrar valores deseados o esperados. El estudio de Ye (2021), se propone un modelo de toma de decisiones basado en funciones de utilidad para reservas giratorias en sistemas de energía, buscando relacionar beneficios y preferencias de riesgo para lograr una asignación óptima. Michaud (2022), resalta la aplicación de la teoría de la UE en finanzas modernas para la toma de decisiones en condiciones de incertidumbre, utilizando modelos de axiomas.

Además, Al-Hchaimi et al. (2023), presenta una metodología para evaluar y clasificar técnicas de contramedidas contra ataques de denegación de servicio en IoT basado en MPSoCs, utilizando el método CRITIC para la ponderación de criterios y el método Fermatean-FDOSM para la clasificación de las técnicas, con el objetivo de apoyar la toma de decisiones en seguridad de IoT. Zytoon (2020), presenta un método de toma de decisiones para la priorización de inspecciones de seguridad reguladas utilizando enfoques integrados de Delphi, AHP y TOPSIS, con aplicación en el sistema de tratamiento médico. Xu et al. (2023), analiza la toma de decisiones en la cadena de suministro del comercio electrónico transfronterizo, centrándose en las preferencias de riesgo como la aversión a la falta de *stock* y al desperdicio. Prado y Chikezie (2021), presenta un modelo de toma de decisiones para minoristas de electricidad que incorpora sistemas de almacenamiento de energía y ofertas virtuales, utilizando el CVaR para gestionar riesgos y minimizar costos.

Li et al. (2019), presenta un método de toma de decisiones de grupo para el sistema de tratamiento médico en China, utilizando un enfoque jerárquico para la evaluación de hospitales y la transferencia de pacientes. Yet et al. (2018), aborda la obtención del valor esperado en modelos de decisión mediante métodos que consideran la información perfecta, utilizando técnicas de programación. Khmelnitsky y Singer (2023), analiza estrategias de precios óptimos y aceptación de ofertas en bienes raíces, buscando maximizar las ganancias proyectadas mediante un modelo que considera costos fijos, de publicidad y variables.

Yang et al. (2021), utiliza el valor esperado para predecir el impacto y volumen de derrames de petróleo en las costas. En (Griffith et al., 2021), se explora la relación entre la teoría de detección de señales y el análisis secuencial en la toma de decisiones en psicología y neurociencia, utilizando el valor esperado en pruebas de elección binaria para predecir decisiones basadas en parámetros estadísticos. Abu Dabous et al. (2021), integran el análisis de modo de falla, efectos y criticidad con la toma de decisiones multicriterio en la industria manufacturera, utilizando el valor esperado para mitigar errores, garantizar la seguridad y confiabilidad de los productos, y reducir costos operativos y de mantenimiento.

Martínez-Sánchez y Venegas-Martínez (2013), examinan el riesgo en las inversiones de la Bolsa Mexicana de Valores, utilizando el valor esperado como ganancia mínima esperada para evaluar el riesgo en las operaciones bursátiles. Zhao et al. (2020), proponen un enfoque híbrido de brecha de información estocástica que combina la teoría de la decisión de brecha de información con CVaR, para desarrollar estrategias de oferta óptimas considerando incertidumbres estocásticas y no estocásticas en una planta de energía solar de concentración en mercados eléctricos diario y en tiempo real. Wang et al. (2021), proponen un modelo de optimización para la toma de decisiones de un minorista en el

mercado *spot* diario, considerando contratos de carga interrumpible y la incertidumbre del precio *spot*, utilizando la evaluación de valor en riesgo condicional para maximizar el beneficio esperado. Szwarcfiter y Herer (2024), presentan un modelo de optimización estocástica utilizando aprendizaje por refuerzo para equilibrar los retornos financieros.

Xu y Salado (2023), presentan un enfoque innovador para la planificación de estrategias conjuntas de verificación-corrección en sistemas. Chen et al. (2024), presentan un sistema para gestionar estaciones de carga de vehículos eléctricos que aborda las limitaciones en las redes de distribución de energía e incertidumbres, incorporando mecanismos de comercio de energía para una gestión efectiva bajo diversas fuentes de incertidumbre como fluctuaciones en los precios de la energía y la variabilidad de la energía renovable, utilizando el valor esperado en la toma de decisiones y el método Monte Carlo para la evaluación de riesgos y la programación de EVCS.

Así mismo, sistemas complejos que se han desarrollado para estimar valores futuros, consideran, ***e.g.***, un sistema de control robusto basado en aprendizaje para vehículos inteligentes con dinámicas desconocidas y perturbaciones ilimitadas, utilizando control predictivo de modelos con modelo de regresión lineal-bayesiana y optimización convexa para eficiencia en las leyes de control y vialidad recursiva, se presenta en (Bao et al., 2024). MCMARL, se presenta como un enfoque en la parametrización de la función de valor mediante una mezcla de distribuciones categóricas para el aprendizaje por refuerzo multiagente, aplicado en entornos cooperativos para capturar la incertidumbre y complejidad (Zhao, Yang et al., 2023).

Una estrategia de optimización en tiempo múltiple para la recuperación de emergencia post-desastre en sistemas de distribución basada en control predictivo de modelos, enfocada en restablecer el servicio eléctrico en áreas afectadas y priorizar la recuperación, influenciada por variables de decisión y retroalimentación de la demanda para un valor esperado, se describe en (Wan et al., 2022). En (Yao et al., 2024), se presenta el desarrollo de estrategias de control adaptativo para una estructura inteligente flexible impresa en 4D, permitiendo adaptarse a cambios en el entorno y aplicable en diversos sectores como arquitectura, ingeniería y robótica, con base en retroalimentación de información y regulación en controladores para un valor esperado.

Como se muestra, existen múltiples aplicaciones de sistemas de apoyo al proceso de toma de decisiones, que consideran la incertidumbre como parte de la modelación matemática de los sistemas. Ante tal situación, este estudio contribuye a este conjunto de conocimiento en la modelación y simulación de parámetros inciertos sobre el comportamiento de las ventas de una empresa. Siendo, el objetivo de estudio el desarrollo de un modelo de pronóstico basado en el comparativo de ventas y otros factores influyentes para evaluar, él cumplimiento del presupuesto de un próximo periodo de tiempo. Se utiliza @Risk 8.5.2 en versión demo, para construir el modelo matemático y simular las variables parametrizadas en Monte Carlo, en el pronóstico de las ventas de un próximo periodo contemplando la incertidumbre asociada al comportamiento de dicha variable.

La empresa gasera se dedica a brindar el servicio del gas L. P. Dentro de las atenciones que brinda comercializa las presentaciones de gas de 10 kg. En febrero del 2024, se observó un comportamiento de decaimiento en las ventas de los PDVT, con respecto al mes anterior. Ante tal situación, la empresa gasera al corte del mes de febrero reportó pérdidas económicas por una inadecuada estimación de ventas realizada en el mes de enero. El modelo empleado por la empresa para la estimación de ventas de un periodo a otro es un modelo de series de tiempo determinista. Ante tal situación y con la intención de disminuir la variación entre el valor de ventas esperado y el valor de ventas real; se propone en el presente estudio, el desarrollo de un modelo de estimación de ventas para un próximo periodo bajo condiciones de incertidumbre, y así, evaluar sí es probable cumplir el presupuesto de marzo 2023.

2. METODOLOGÍA

El sistema de apoyo al proceso de toma de decisiones de la estimación de ventas considera la interacción de diversas variables independientes, sobre la dependiente (ventas). En tal sentido, la incertidumbre asociada al comportamiento de variables estocásticas se representará mediante distribuciones de probabilidad; las cuales, será determinadas mediante pruebas estadísticas de bondad y ajuste. Para esto, se empleará una base de datos de las ventas históricas de una empresa gasera con presencia en México, integrada em Microsoft® Excel® para Microsoft 365 MSO (versión 2404 compilación 16.0.17531.20152) de 64 bits; mientras que el modelo matemático del sistema bajo condiciones de incertidumbre se desarrollará en @Risk 8.5.2 en versión demo como complemento de Microsoft® Excel® para Microsoft 365. Finalmente, el modelo bajo condiciones de incertidumbre se simulará en Monte Carlo, como generador de números pseudoaleatorios.

3. RESULTADOS

La sección presenta el modelado del sistema y, el análisis de los resultados, del sistema.

3.1. Descripción de los Datos

La base de datos se conforma de las ventas que se tuvieron en los puntos de venta de la Planta San Andrés Tuxtla ubicada en Veracruz-México, comprendida por los meses de enero y febrero del año 2024; considerando 25 días hábiles del mes. La Figura 1, presenta una sección de la base de datos.

Estatus	PDVT	Kilos enero	Kilos febrero	Ubicación	Antigüedad en años	Horas te atención	Clientes tatum atendidos por ruta al día
COMISION	MISCELÁNEA MARY	130	100	1	0.5	8	2
COMISION	MINISUPER TO	80	117	1	0.9	5	3
COMISION	ABARROTES EL TRIANGULO	141	120	1	0.9	6	4
ESTACION	EST. DE CARB (HUEYTAMALCO)	110	140	1	2	14	2
COMISION	ABARROTES RICARDA	130	140	1	2	6	0
COMISION	COYOTZINGO	250	160	1	3	8	0
COMISION	DAYKA	261	164	1	3	8	0
COMISION	ABARROTES ALEJANDRA	401	191	1	0.9	12	4
ESTACION	ESTACION SAN SEBASTIAN	160	214	1	3	14	2
COMISION	ESPIRY	200	230	3	3	12	2
COMISION	AB. ROGER	290	250	3	4	10	0
COMISION	ABARROTES LILIAN	300	250	3	3	16	0
ESTACION	ESTACION PLANTA	382	272	1	5	14	0
COMISION	AB. LA UNIVERSAL VERACRUZANA	520	320	3	4	13	0
COMISION	ABARROTES 3 HERMANOS DEL VALLE	380	340	1	3	10	0
COMISION	LA FAVORITA	373	349	1	0.6	12	3
COMISION	CHELA´S	550	357	1	4	12	3
COMISION	ABARROTES LUPITA	470	380	1	3	14	0
COMISION	ABARROTES MUNDO	467	427	1	0.5	6	3
COMISION	VINOS Y LICORES PATY	568	458	3	3.5	14	0
COMISION	ANITA	425	468	1	4	16	2
COMISION	AB. YAEL	620	490	1	4	8	1
COMISION	CIELO	500	490	3	2.5	12	0
COMISION	ABARROTES EL SOL	234	507	1	0.7	13	2
COMISION	ABARROTES PANAMÁ	560	520	1	3	10	0
ACTIVO	ABARROTES LORENA	980	600	1	3	10	0
COMISION	DE LUNA	873	642	1	4.5	10	2
ESTACION	ESTACION MA DE LA TORRE	790	727	1	4	14	0
COMISION	3 HERMANOS SAN PEDRO	555	738	3	0.5	10	0
COMISION	ABARROTES FÉLIX	807	797	3	4	10	0
COMISION	ANDY	1152	1007	1	6	13	0
ACTIVO	AB. EL ARENAL	1200	1062	1	6	12	0
COMISION	BARRIENTOS	1175	1088	2	6	12	0
ACTIVO	M Y M	1360	1210	3	5	14	0
ACTIVO	ABARROTES NAHOMI	1350	1280	1	3	14	0
ACTIVO	AB. TOÑITA	1448	1355	1	5	14	0
ESTACION	ESTACION VEGA REDONDA	1673	1434	1	6	14	2
ACTIVO	MISCELANEA OXXI	1660	1440	1	5	14	0
ACTIVO	MIS DOS ESTRELLAS	1635	1491	1	6	14	0
ACTIVO	MARICARMEN	1674	1581	2	6	14	0

Figura 1 Base de Datos.

La base de datos describe:

- Estatus: indica la manera en que trabajan los PDVT.
- Estación: código propio de la empresa.
- Comisión: es el socio comercial (perciben sueldo mínimo).
- Activo: empleado comercial (perciben comisión por kilogramo).
- PDVT: es el nombre de la razón social que vende el tanque.
- Kilogramos de enero y kilogramos de febrero, son la cantidad de kilogramos vendidos.
- Ubicación: consta de lo siguiente,
    - Representa la ubicación del PDVT en la colonia.
    - Representa la ubicación del PDVT en el centro.
    - Representa la ubicación del PDVT en alguna congregación.
- Antigüedad en años: es el tiempo que la razón social lleva trabajando con la empresa.
- Horas de atención; es el tiempo que el establecimiento se encuentra abierto para los clientes.
- Clientes TATUM atendidos por ruta al día: representa a los clientes que compran su cilindro de 10 kg, con la camioneta de reparto.

3.2. Modelación Matemática

La técnica comúnmente empleada en la determinación de un valor futuro, promedio simple; es robustecida al incorporarse la incertidumbre a la Ecuación (1).

$$\bar{x} = \frac{x_1+x_2+x_3+\cdots+x_n}{n} \qquad (1)$$

Donde:

$\bar{x}$ = Promedio o pronostico.

x_1 = Valor histórico.
n = Numero de datos.

Con esta ecuación los valores históricos, son empleados para estimar un valor futuro y establecer así el pronóstico por promedio simple.

3.3. Modelación bajo Condiciones de Incertidumbre

A partir de la Ecuación (1), y representando en cada una de las variables la incertidumbre mediante distribuciones de probabilidad, el sistema de apoyo a la decisión se desarrolla en @Risk (ver Figura 2).

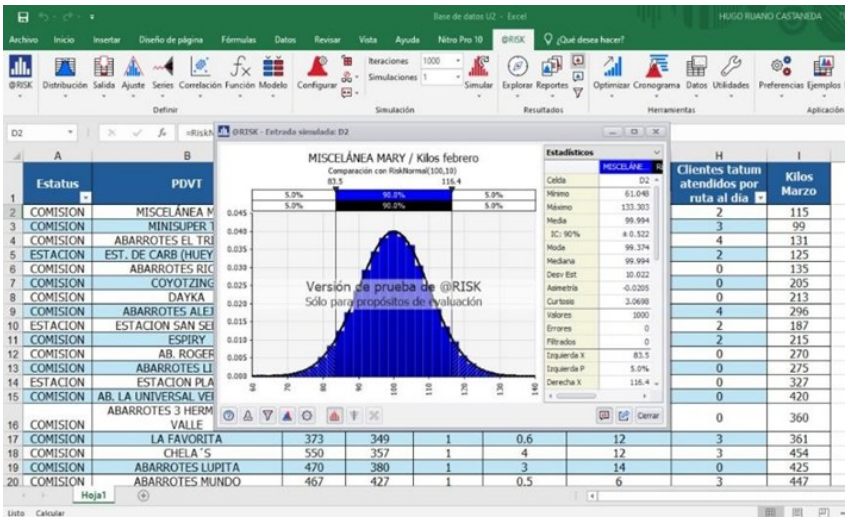


Figura 2 Modelación con @Risk.

Aplicadas las distribuciones a cada una de las variables, la simulación en Monte Carlo se efectúo. Con lo que se obtuvo que la estimación de ventas para el mes de marzo de la estación de CARB (HUEYTAMALCO), el modelo estimó un valor mínimo de venta de 88 kg y un máximo de 157 kg a vender, tal y como se muestra en la Figura 3.

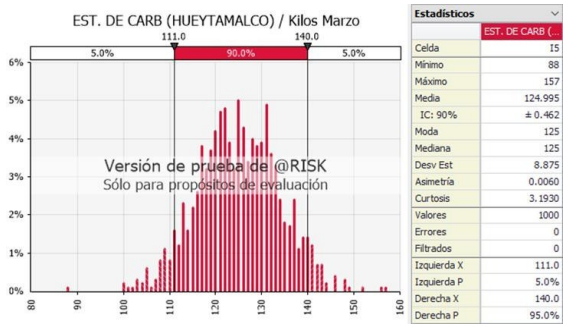


Figura 3 Estimación de Ventas de la Estación CARB(HUEYTAMALCO).

La estimación de ventas para el mes de marzo de la estación de SAN SEBASTIAN, el modelo estimó un valor mínimo de venta de 142 kg y un máximo de 228 kg a vender, tal y como se muestra en la Figura 4.

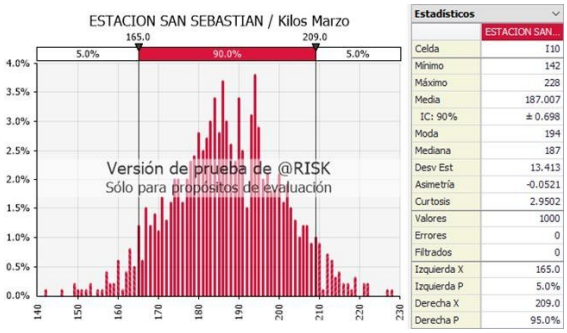


Figura 4 Estimación de Ventas de la Estación SAN SEBASTIAN.

La estimación de ventas para el mes de marzo de la estación de PLANTA, el modelo estimó un valor mínimo de venta de 240 kg y un máximo de 406 kg a vender, tal y como se muestra en la Figura 5.

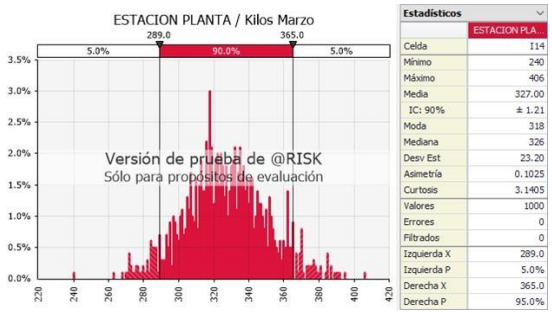


Figura 5 Estimación de Ventas de la Estación PLANTA.

La estimación de ventas para el mes de marzo de la estación de MA DE LA TORRE, el modelo estimó un valor mínimo de venta de 572 kg y un máximo de 924 kg a vender, tal y como se muestra en la Figura 6.

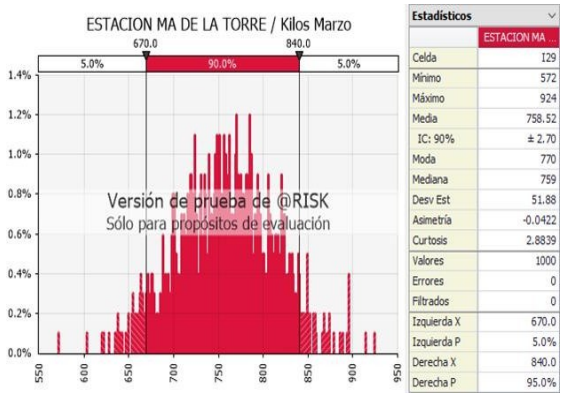


Figura 6 Estimación de Ventas de la Estación MA DE LA TORRE.

Finalmente, la estimación de ventas para el mes de marzo de la estación de VEGA REDONDA, el modelo estimó un valor mínimo de venta de 1,193 kg y un máximo de 1,924 kg a vender, tal y como se muestra en la Figura 7.

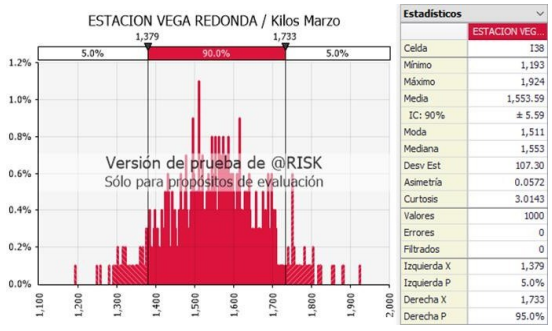


Figura 6 Estimación de Ventas de la Estación VEGA REDONDA.

La estimación de ventas por estacionario prevé ventas en kilogramos para marzo en diversas ubicaciones. Cada estación muestra un rango mínimo y máximo de ventas esperadas para ese período. Estas proyecciones son útiles para la planificación de inventarios, asignación de recursos y estrategias de ventas específicas para cada ubicación. Además, permiten comparar el rendimiento real con las proyecciones, lo que facilita ajustes y mejoras en las estrategias comerciales.

4. CONCLUSIONES

Para evaluar la salud financiera de la empresa gasera bajo estudio., y su capacidad para cumplir con los objetivos presupuestarios, se estableció una estimación considerando la incertidumbre asociada al comportamiento natural de las variables en el proceso, basado en el análisis comparativo de ventas y otros factores influyentes. Para lograr esto, se modeló el comportamiento de las variables en @Risk 8.5.2 en versión demo; con lo que, se tienen las bases para comprender la naturaleza probabilística de las ventas y tomar decisiones fundamentadas.

El análisis y modelado matemático se centran en el pasado, en el presente y se proyectan hacia el futuro para anticipar posibles escenarios y tomar medidas proactivas en consecuencia. Esto incluye la evaluación de la probabilidad de cumplir con el presupuesto de marzo de 2024, y la posibilidad de ajustar las estrategias comerciales o financieras según sea necesario.

Esta propuesta es factible de mejora al, considerar: a) incorporar otros datos relevantes, como tendencias del mercado, cambios en la competencia, fluctuaciones económicas; b) realizar análisis comparativos: comparar el rendimiento actual con períodos anteriores para identificar tendencias y patrones; c) evaluar múltiples escenarios: considerar diferentes escenarios posibles al elaborar estimaciones, teniendo en cuenta diferentes variables que podrían afectar las ventas; d) involucrar a expertos: contar con la participación de expertos en análisis de datos que complementen la estimación, en función de su conocimiento tácito; e) establecer un sistema automático de estimación: mantener las estimaciones actualizadas a medida que se recopilan nuevos datos y se producen cambios en el entorno empresarial.

La modelación de sistemas bajo condiciones de incertidumbre reduce la variabilidad entre el valor esperado y el valor real, al modelar la variabilidad natural a las variables de interés. En el presente estudio, este enfoque permite la determinación de estimaciones precisas y realistas, que mejoran el proceso de toma de decisiones.

5. REFERENCIAS

Abu Dabous, S., Ibrahim, F., Feroz, S., & Alsyouf, I. (2021). Integration of failure mode, effects, and criticality analysis with multi-criteria decision-making in engineering applications: Part II – Non-manufacturing industries. *Engineering Failure Analysis*, 122, 105296. https://doi.org/10.1016/J.ENGFAILANAL.2021.105296

Al-Hchaimi, A. A. J., Sulaiman, N. B., Mustafa, M. A. B., Mohtar, M. N. B., Hassan, S. L. B. M., & Muhsen, Y. R. (2023). Evaluation Approach for Efficient Countermeasure Techniques Against Denial-of-Service Attack on MPSoC-Based IoT Using Multi-Criteria Decision-Making. *IEEE Access*, 11, 89–106. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3232395

Bao, H., Kang, Q., Shi, X., Xiao, L., & An, J. (2024). Robust Learning-Based Model Predictive Control for Intelligent Vehicles With Unknown Dynamics and Unbounded Disturbances. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 9(2), 3409–3421. https://doi.org/10.1109/TIV.2023.3336964

Blumberg, K. (2023). Wishing, Decision Theory, and Two-Dimensional Content. *Journal of Philosophy* 120 (2):61-93.

Chen, X., Wang, X., & Shahidehpour, M. (2024). Risk-aware Hierarchical Coordination of Peer-to-Peer Energy Trading for Electric Vehicle Charging Stations in Constrained Power Distribution and Urban Transportation Networks under Uncertainties. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 1. https://doi.org/10.1109/TTE.2024.3362848

Griffith, T., Baker, S. A., & Lepora, N. F. (2021). The statistics of optimal decision making: Exploring the relationship between signal detection theory and sequential analysis. *Journal of Mathematical Psychology*, 103, 102544. https://doi.org/10.1016/J.JMP.2021.102544

Khmelnitsky, E., & Singer, G. (2023). Optimal Real Estate Pricing and Offer Acceptance Strategy. *IEEE Access*, 11, 58644–58653. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3284549

Li, N., Zhang, R., & Xing, Y. (2019). A Novel Multi-Attribute Group Decision-Making Method and Its Application in Solving the Downward Referral Problem in the Hierarchical Medical Treatment System in China. *IEEE Access*, 7, 185205–185227. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2959061

Liu, W., Feng, X., Zhang, F., Du, Y., & Yan, C. (2018). Analytic of B2C E - Commerce Credit Mechanism Mixed Strategy Risk Behavior Based on Logical Game Petri Nets. *IEEE Access*, 6, 29109-29131.

Martínez-Sánchez, J. F., & Venegas-Martínez, F. (2013). Riesgo operacional en el proceso de liquidación del mercado mexicano de valores: un enfoque bayesiano. *Investigación económica*, 72(286), 101-138. Recuperado en 07 de agosto de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-16672013000400004&lng=es&tlng=es.

Michaud, Richard O. (April 2022). Expected Utility and the Michaud Efficient Frontier. Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=4075071 or http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4075071

Prado, J. C. D., & Chikezie, U. (2021). A Decision Model for an Electricity Retailer With Energy Storage and Virtual Bidding Under Daily and Hourly CVaR Assessment. *IEEE Access*, 9, 106181–106191. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3100815

Schipper, B. C. (2024). Predicting the Unpredictable under Subjective Expected Utility, *In Working Papers 362*, University of California, Davis, Department of Economics.

Szwarcfiter, C., & Herer, Y. T. (2024). Managing the Balance Between Project Value and Net Present Value Using Reinforcement Learning. *IEEE Access*, 12, 7500–7518. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3346789

Wan, H., Liu, W., Shi, Q., Zhang, Y., Wang, Y., & Zhang, S. (2022). Multi-time-step rolling optimization strategy for post-disaster emergency recovery in distribution system based on model predictive control. CSEE *Journal of Power and Energy Systems*, 1–11. https://doi.org/10.17775/CSEEJPES.2021.08050

Wang, K., Zhu, Z., & Guo, Z. (2021). Optimal Day-Ahead Decision-Making Scheduling of Multiple Interruptible Load Schemes for Retailer With Price Uncertainties. *IEEE Access*, 9, 102251–102263. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3092736

Xu, P., & Salado, A. (2023). A Mathematical Approach to Design Verification Strategies That Incorporate Corrective Activities as Dedicated Decisions. *IEEE Open Journal of Systems Engineering*, 1, 1–11. https://doi.org/10.1109/OJSE.2022.3222731

Xu, X., & Zhou, S. (2023). Cross-Border E-Commerce Supply Chain Decision-Making Considering Out-of-Stock Aversion Risk and Waste Aversion Risk. *IEEE Access*, 11, 45632–45644. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3274697

Yang, Z., Chen, Z., Lee, K., Owens, E., Boufadel, M. C., An, C., & Taylor, E. (2021). Decision support tools for oil spill response (OSR-DSTs): Approaches, challenges, and future research perspectives. *Marine Pollution Bulletin*, 167, 112313. https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2021.112313

Yao, H., Wen, Y., Tian, H., Zhou, Z., Di, Y., Zhang, Y., Luo, X., & Shao, J. (2024). Control-Based Adaptive Behavior for 4-D Printed Flexible Intelligent Structure. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 71(7), 7413–7423. https://doi.org/10.1109/TIE.2023.3306412

Ye, L., Yao, J., Ouyang, X., Zhu, X., & Yang, S. (2021). Risk Analysis and Utility Function-Based Decision-Making Model for Spinning Reserve Allocations. IEEE Access, 9, 18752–18761. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3054404

Yet, B., Constantinou, A., Fenton, N., & Neil, M. (2018). Expected Value of Partial Perfect Information in Hybrid Models Using Dynamic Discretization. *IEEE Access*, 6, 7802–7817. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2799527

Zhang, C., Wang, Z., & Shafieezadeh, A. (2020). Value of Information Analysis via Active Learning and Knowledge Sharing in Error-Controlled Adaptive Kriging. *IEEE Access*, 8, 51021–51034. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2980228

Zhao, J., Yang, M., Zhao, Y., Hu, X., Zhou, W., & Li, H. (2023). MCMARL: Parameterizing Value Function via Mixture of Categorical Distributions for Multi-Agent Reinforcement Learning. *IEEE Transactions on Games*, 1–10. https://doi.org/10.1109/TG.2023.3310150

Zhao, Y., Liu, S., Lin, Z., Wen, F., Yang, L., & Wang, Q. (2020). A Mixed CVaR-Based Stochastic Information Gap Approach for Building Optimal Offering Strategies of a CSP Plant in Electricity Markets. *IEEE Access*, 8, 85772–85783. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2992050

Zytoon, M. A. (2020). A Decision Support Model for Prioritization of Regulated Safety Inspections Using Integrated Delphi, AHP and Double-Hierarchical TOPSIS Approach. *IEEE Access*, 8, 83444–83464. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2991179

"EVALUACIÓN DE LA RESILIENCIA EN CADENAS DE SUMINISTRO DE PEQUEÑAS Y MEDIANAS EMPRESAS EN LA REGIÓN DE MAR DEL PLATA"

Claudia Noemí Zárate, Alejandra María Esteban, María Betina Berardi

Facultad de Ingeniería. UNMdP
cnzarate@fi.mdp.edu.ar *;* aesteban@fi.mdp.edu.ar; betberardi@fi.mdp.edu.ar

RESUMEN

Las cadenas de suministro se han convertido en cadenas globales, muy extensas y complejas que, en caso de interrupciones inesperadas y entornos de mercados cambiantes, no siempre poseen herramientas para superarlas. Pandemias, regiones políticamente inestables, rutas comerciales vulnerables, y las consecuencias del cambio climático, entre otras, hacen que las interrupciones de la cadena de suministro sean cada vez más probables, comprometiendo seriamente su desempeño. La resiliencia es un concepto que caracteriza el comportamiento de las organizaciones ante disrupciones inesperadas. Las PyMEs en este contexto, se consideran más vulnerables debido a sus características propias de tamaño, capacidad financiera e informalidad, entre otras. El objetivo de este trabajo es, a través de una revisión bibliográfica identificar los factores que afectan a la resiliencia de las organizaciones, en particular de las PyMEs. A partir de los resultados obtenidos, proponer un índice, utilizando un modelo multicriterio. La metodología utilizada fue una revisión sistemática de la literatura y modelos multicriterio. Los resultados indican que la producción científica para PyMEs en economías emergentes es escasa, a pesar de la importancia económica que tienen las PyMEs en cualquier entorno, para el desarrollo del país. Esto demuestra una clara necesidad de aumentar el conocimiento en este sentido. A partir de los factores que más influyen en la resiliencia se presenta un esquema basado en Metodologías Multicriterio -Proceso Analítico de Jerarquías- para determinar la importancia de los mismos en las PyMEs de la región, y se propone el cálculo de un índice de resiliencia para la empresa en particular.

Palabras Claves: Resiliencia, PyMEs, Índice, Proceso Analítico de Jerarquías.

ABSTRACT

Supply chains have become very large and complex global chains that, in the event of unexpected disruptions and changing market environments, do not always have the tools to overcome them. Pandemics, politically unstable regions, vulnerable trade routes, and the consequences of climate change, among others, make supply chain disruptions increasingly likely, seriously compromising supply chain performance. Resilience is a concept that characterizes the behavior of organizations in the face of unexpected disruptions. In this context, SMEs are considered more vulnerable due to their size, financial capacity and informality, among others. The objective of this paper is, through a literature review, to identify the factors that affect the resilience of organizations, particularly SMEs. From the results obtained an index using a multi-criteria mode is proposed. The methodology used was a systematic review of the literature and multi-criteria models. The results indicate that scientific production for SMEs in emerging economies is scarce, despite the economic importance of SMEs in any environment for the development of the country. This demonstrates a clear need to increase knowledge in this regard. Based on the factors that most influence resilience, a scheme based on Multicriteria Methodologies - Analytical Hierarchy Process - is presented to determine the importance of these factors in SMEs in the region, and the calculation of a resilience index for the company is proposed.

Keywords: Resilience, SMEs, Index, Analytical Hierarchy Process.

1. INTRODUCCIÓN

En esta sección se presentan los conceptos más relevantes vinculados a la resiliencia de la cadena de suministro, tales como las características de una cadena de suministro resiliente, sus métricas y las acciones que se utilizan para mejorarla. Posteriormente se identifican las particularidades principales de las PyMEs de modo de dar marco al planteo del objetivo de la revisión.

1.1. Resiliencia e la Cadena de Suministro.

Una cadena de suministro (CS) está formada por todas aquellas partes involucradas de manera directa o indirecta en la satisfacción de una solicitud de un cliente. La cadena de suministro incluye no solamente al fabricante y al proveedor, sino también a las redes de transporte, almacenes, distribuidores y vendedores, y al cliente final. El objetivo de cualquier cadena de suministro es proporcionar productos y servicios a los clientes y a la sociedad, de manera rentable. En consecuencia, las empresas se esfuerzan por aumentar sus ingresos -aumentando el número de productos a la venta, o el número de puntos de ventas, entre otras estrategias- reducir los costos -fabricando en aquellos lugares en los que sea más económico hacerlo, por ejemplo- y reducir activos, en la medida es que esto sea posible -por ejemplo, a través de subcontratación-. Así, las cadenas de suministro se han convertido en cadenas globales, muy extensas y complejas. No obstante, este concepto de eficiencia involucrado lleva a CS no competitivas en caso de interrupciones inesperadas y entornos de mercados cambiantes. Pandemias, regiones políticamente inestables, rutas comerciales vulnerables, y las consecuencias del cambio climático, entre otras, hacen que las interrupciones de la CS sean cada vez más probables, comprometiendo seriamente su desempeño (Bruckler *et al.*, 2024). Esta situación ha puesto marcado interés, tanto del sector empresarial como de los investigadores en la resiliencia de la cadena de suministro (RCS). Se define a la resiliencia como la capacidad de una empresa para sobrevivir, adaptarse y crecer en tiempos tumultuosos (Chowdhury & Quaddus, 2017). En el mismo sentido varios autores definen la resiliencia de una cadena de suministro como la capacidad de la cadena para hacer frente a las consecuencias de eventos de riesgo inevitables para volver a su estado operativo original o pasar a un estado nuevo y más deseable después de haber sido perturbado (Peck, 2005; Christopher & Peck, 2004; Juttner & Maklan, 2011).

1.1.1 Características de una cadena de suministro resiliente.

Considerando que las fases de una interrupción son la preparación, la capacidad de respuesta y la recuperación, una cadena de suministro debe desarrollar 4 características para ser resiliente que son (1) flexibilidad, (2) velocidad, (3) visibilidad y (4) colaboración (Khojasteh, 2018).

1. flexibilidad de la cadena de suministro: garantiza que los cambios causados por el evento de riesgo puedan ser absorbidos por la cadena de suministro a través de respuestas efectivas, respaldando la fase de preparación o de detección de interrupciones. Propone a la redundancia -duplicaciones de capacidad para que las operaciones puedan continuar después de una falla- como un camino hacia la flexibilidad.
2. Velocidad de la cadena de suministro: en un evento de riesgo, la velocidad determina la pérdida que ocurre por unidad de tiempo. En el contexto de la flexibilidad, denomina reconfiguración al número de estados posibles que puede tomar una cadena de suministro, la robustez al número de cambios que es capaz de afrontar y la velocidad es el ritmo de las adaptaciones. En este marco, el tiempo de entrega se transforma en un indicador clave de la velocidad. Existen varias formas de velocidad, velocidad a la que ocurre el evento, a la que se descubre el evento de riesgo, a la que ocurren las pérdidas y a la que la cadena de suministro puede recuperarse. Por lo tanto, la velocidad debe evaluarse en las tres fases de la interrupción.
3. Visibilidad de la cadena de suministro: se define como la identidad, ubicación y estado de las entidades que transitan por la cadena de suministro. Garantiza la confianza en la cadena y evita reacciones exageradas, intervenciones innecesarias y decisiones ineficaces en un evento de riesgo. Es importante en las fases de capacidad de respuesta y recuperación, aunque contribuye también en la preparación, porque da las señales correctas en el momento oportuno.
4. Colaboración en la cadena de suministro: dado que la resiliencia en la cadena de suministro es un concepto interorganizacional, se deben adoptar una actitud predispuesta entre las partes para alinear fuerzas en caso de un evento de riesgo. La colaboración está relacionada con la voluntad de las partes de compartir información sensible sobre riesgo y eventos de riesgo. Contribuye a reducir la incertidumbre y la preparación, previniendo comportamientos oportunistas y contribuye, una vez superada la perturbación, para compartir experiencias entre las partes.

La necesidad de medir la resiliencia surge como una forma de establecer un plan de acción para proteger a la CS de interrupciones causadas por eventos inesperados tales como desastres naturales, fallas en maquinarias, o la reciente pandemia, entre otros. El diseño de una métrica de resiliencia debe

contemplar la capacidad de absorción (resistir o absorber impactos externos), la capacidad adaptativa (capacidad de reorganizarse para compensar las interrupciones) y la capacidad de restauración de un sistema (eficiencia y eficacia para reparar un sistema). Las métricas de resiliencia describen formalmente la curva de resiliencia y son un indicador de la resiliencia de un sistema que enfrenta una disrupción. En su revisión Bruckler *et al.* (2024) cita a Hosseini *et al.* (2019), quienes definen a las capacidades de resiliencia de una cadena de suministro como las capacidades de absorber la perturbación y adaptarse a las condiciones cambiadas o de restaurar la situación inicial. Finalmente presentan las acciones de resiliencia que son las medidas de precaución o anticipación proactiva que los tomadores de decisiones pueden tomar de manera proactiva para fortalecer la capacidad de absorción, de adaptación y de restauración de una cadena de suministro ante una disrupción.

1.2. Métricas de resiliencia

Las métricas de resiliencia miden el desempeño de la cadena y esta medición se pueden presentar de diversas magnitudes. En algunos casos se han presentado la medición del desempeño en términos de porcentaje de demanda satisfecha, en unidades entregadas a clientes, en unidades no entregadas del proveedor al fabricante o capacidad de producción. También se publicado investigaciones basadas en criterios económicos -aumento de costos asociados a la interrupción o recuperación, lucro cesante- y referidos a parámetros de calidad como tiempo de entrega, porcentaje de unidades entregadas a tiempo, o sin daño, entre otros.

1.3. Acciones de resiliencia

Son acciones preventivas o anticipatorias que los tomadores de decisiones pueden implementar de manera proactiva para fortalecer las capacidades de absorción adaptación y restauración del sistema para hacer frente a las perturbaciones y mejorar la resiliencia. En líneas generales, las iniciativas de resiliencia para una cadena de suministro incluyen actividades vinculadas al proceso -abastecimiento, producción, distribución y ventas- y se pueden tomar en el marco de decisiones estratégicas, tácticas y operativas. En la Tabla 1 se presentan a modo de resumen distintas acciones que pueden tomarse a efectos de mitigar los efectos de una disrupción, considerando el proceso, tipo de decisión y capacidad que fortalece.

Tabla1: Acciones para mitigar efectos de disrupción. Fuente: elaboración propia en base a resultados de Buckler et al. (2024).

	Abastecimiento	Producción	Distribución	Ventas	Capacidad
decisiones estratégicas	• múltiples proveedores • ubicación y capacidad de almacén	• colchón de capacidad • localización de planta	• ubicación y capacidad de almacén • transporte redundante		*absorción*
	• proveedor de respaldo • cooperación	• tecnologías de producción			*adaptación*
decisiones tácticas	• políticas de inventario • planificación de personal	• planificación de producción en medio/corto plazo (subcontratación, horas extras, etc. • mantenimiento proactivo	• planificación de la distribución • políticas de inventario		*absorción*
	• MRP • políticas de inventario	• planificación de la capacidad • colchón de capacidad	• planificación de la distribución • reasignación de inventario	• planificación de ventas a corto/mediano plazo • priorización de clientes	*adaptación/ restauración*
decisiones operativas	• capacidad de respaldo • gestión de pedidos	• reprogramación de maquinaria	• reprogramación de rutas (desvíos)	• adaptación de nivel de servicio y precio • priorización de clientes	*adaptación*

En la Figura 1 se presenta la curva de resiliencia presentada en la revisión de Buckler *et al.* (2024). En la misma se representan las métricas identificadas por Poulin y Kane (2021). En línea azul se

representa la curva de resiliencia general, mientras que en línea violeta la misma se muestra la curva mejorada a partir de la toma de acciones conducentes para enfrentar la disrupción.

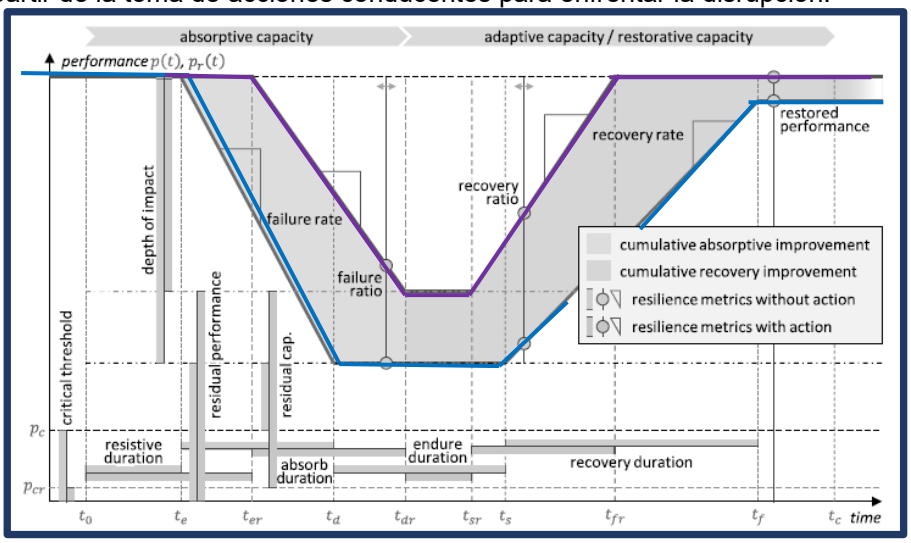


Figura 1: Métricas para evaluar la resiliencia. Fuente: Bruckler et al. (2024)

Referencias: s/a= sin acciones; c/a= con acciones

p_c: umbral crítico;
p_{cr}: umbral crítico inferior;
t_0: inicio de intervalo de control;
t_e: Inicio de la disrupción (s/a);
t_{er}: Inicio de la disrupción (c/a);
p_c: umbral crítico;
p_{cr}: umbral crítico inferior;
t_0: inicio de intervalo de control;
t_e: Inicio de la disrupción (s/a);
t_{er}: Inicio de la disrupción (c/a);
t_d: finalización de la degradación del desempeño(s/a);
t_{dr}: finalización de la degradación del desempeño(c/a);
t_{sr}: inicio de la recuperación del sistema (c/a);
t_s: inicio de la recuperación del sistema (s/a);
t_{fr}: finalización de la recuperación del sistema (c/a);

1.4. Las PyMEs

Se entiende por empresa a toda unidad económica que desarrolle, con ánimo de lucro, el ejercicio habitual de una actividad mercantil basada en la producción, extracción o cambio de bienes o en la prestación de servicios, que utiliza como elemento fundamental para el cumplimiento de dicho fin la inversión del capital y/o el aporte de mano de obra, asumiendo en la obtención del beneficio el riesgo propio de la actividad que desarrolla. Una PyME es una pequeña o mediana empresa que realiza en el país, sus actividades en alguno de estos sectores: servicios, comercial, industrial, agropecuario, construcción o minero. Puede estar integrada por una o varias personas y su categoría se establecen de acuerdo con la actividad declarada, a los montos de las ventas totales anuales o a la cantidad de empleados (https://www.argentina.gob.ar/). Las pequeñas y medianas empresas (PyMEs) son relevantes en todo el mundo porque significan el primer paso de un emprendedor, además de que representan el sustento de millones de familias. La Organización de Naciones Unidas (ONU) indica que en todo el mundo el 90 % de las empresas entran en esta categoría, alojando a más del 60 % de la fuerza laboral y las responsables de generar el 50 % del PIB mundial. No obstante, las PyMEs, a diferencia de las grandes empresas, enfrentan retos para poder sobrevivir, ya que están más expuestas a factores que las pueden hacer desaparecer. Existen factores que afectan el desarrollo de las PyMEs, como el comercio informal, porque genera una competencia desleal con las empresas legalmente establecidas. Por otro lado, las PyMEs suelen tener menos oportunidades de financiamiento. Otros retos están ligados a los procesos operativos, su acceso a la tecnología y las posibilidades de capacitación. Sin contar que son más vulnerables a las crisis económicas locales y mundiales.

1.4.1 Características de una PyME.

Las PyMEs poseen características específicas que las hacen destacar entre otras empresas, más allá del número de empleados o el tamaño de su infraestructura. Se mencionan las principales a continuación:

- **Tamaño**: son organizaciones pequeñas en cuanto al número de trabajadores y dimensiones de su infraestructura y operación.
- **Recursos limitados**: cuentan con limitados recursos financieros, tecnológicos y humanos, sobre todo si se compara con el financiamiento o la plantilla laboral de las grandes empresas; por lo que muchas veces las PyMEs son más creativas para hallar la forma de competir en el mercado.
- **Heterogeneidad**: se trata de empresas que muchas veces abarcan más de un giro o que no tienen tan definidas sus actividades. Estas organizaciones suelen ser más dispersas y menos cohesionadas.
- **Cultura organizacional**: las PyMEs pueden tener una cultura organizacional más cercana a las personas, aunque a veces menos establecida ni reglamentada.

• **Independencia**: este tipo de empresas no están asociadas con otras empresas o grupos, por lo que pueden mantener su autonomía, en contraposición con las grandes empresas.
• **Flexibilidad**: las PyMEs suelen ser más ágiles y flexibles en su organigrama, lo que a veces puede provocar que no tengan procesos tan formales; más bien se van adaptando a las condiciones del mercado y lo que piden los clientes.
• **Familiar**: hay un gran número de PyMEs que son propiedad de una sola familia o de un grupo reducido de personas, lo que permite una gestión más personalizada y cercana a los trabajadores y clientes.
• **Local**: estas empresas operan en una localidad limitada y no suelen expandir sus operaciones a otras áreas, ciudades o países.

1.4.2 La resiliencia en las PyMEs.

En su revisión, Bak *et al.* (2023) sostienen que, a pesar de la importancia de las PyMEs para muchas economías de todo el mundo, la evidencia sugiere que las PyMEs están relativamente menos preparadas que las organizaciones más grandes para hacer frente a las perturbaciones, debido al entorno volátil y de recursos limitados en el que operan. Las PyMEes a menudo tienen un acceso limitado a un conjunto más amplio de estrategias de afrontamiento, generalmente no están bien preparadas para hacer frente a las perturbaciones. Como señalaron Linnenluecke y Griffiths (2010), la resiliencia de una organización se relaciona con su tamaño, por ejemplo, "la interrupción de las operaciones en una sucursal local puede parecer menor desde la perspectiva de una organización grande y global, pero puede ser importante para una organización pequeña que opera sólo en unos pocos lugares".
Las PyMEs enfrentan particularmente dos desafíos clave: 1) su susceptibilidad a las disrupciones y 2) su capacidad para recuperarse de las disrupciones.
Bak *et al.* (2023) identifican en la literatura cuatro áreas focales que se deben considerar al momento de evaluar la resiliencia en las PyMEs: el papel de la colaboración, las capacidades, la adopción de sistemas de información y finalmente los costos y políticas de financiación.
Respecto de la colaboración, indican que, si bien no están demasiado estudiados las barreras e impulsores de la misma, una PyME debido a su tamaño y poder de negociación, encuentra un desafío importante para poder desarrollar estrategias de colaboración.
Respecto de las capacidades, una PyME si bien es más ágil y flexible -lo que mejora su resiliencia- pueden tener dificultades importantes al momento de mitigar o definir planes de recuperación al momento de una disrupción debido a la disponibilidad limitada de recursos.
Como resultado de su estudio, sugieren que un sistema de información seguro puede ayudar a aumentar la resiliencia en una red PyME; sin embargo, la falta de financiación adecuada ya sea para la ciberseguridad como para la adopción de nuevas tecnologías.
El objetivo de este trabajo es explorar el conocimiento científico vinculado a la resiliencia en PyMEs y determinar, en base a la bibliografía, los factores que más la afectan. A partir de los resultados, definir un índice que permita evaluar el grado de resiliencia de una PyME perteneciente al ejido industrial de la región de Mar del Plata.

2. METODOLOGÍA.

Para el desarrollo de este trabajo se emplearon dos metodologías diferentes, la Revisión Sistemática de la Literatura y el Procesos Analítico de Jerarquías

2.1. Revisión Sistemática de la Literatura

Se realizó una Revisión Sistemática de la Literatura estructurada (RSL) sobre las métricas y factores que inciden sobre resiliencia en las PyMEs.
Harzing´s Publish or Perish fue la herramienta de búsqueda utilizada para recopilar el conjunto de datos. Esta herramienta de extracción de datos de Google Scholar recopila publicaciones basadas en palabras clave y produce una lista de todos los artículos, libros, capítulos de libros, disertaciones/tesis, documentos técnicos, actas de congresos y citas de referencia. Además de los autores, títulos y nombres de publicaciones, la herramienta también proporciona recuentos de citas y enlaces a los artículos.

- La Ecuación de búsqueda utilizada fue

"Supply Chain" AND "Resilience" AND "Metric" OR "Metrics" OR "Indicator" OR "Indicators" AND "small and medium-sized enterprises" OR "SMES"

- Limitado a los años 2015-2024

Se encontraron 200 trabajos por Harzing´s Publish or Perish a través de Google Scholar, de los cuales sólo se pudo acceder a 153 artículos en forma completa.

Posteriormente se analizó en título, resumen y palabras claves si contenían la palabra “resiliencia” y “PyMEs”, excluyéndose aquellos trabajos que no las contuvieran. De este proceso resultaron 77 artículos.
Se eliminaron aquellos trabajos referidos a COVID y vinculados a la industria farmacéutica, dado que se considera que la pandemia generó casos extremos de disrupción, que no contribuiría al objetivo de este trabajo.
Finalmente, sólo se analizaron aquellos trabajos en formato de journal y actas de congresos. Es decir, se eliminaron capítulos de libro y editoriales.
En la Figura 2 se presenta un diagrama en el que se ilustra este proceso.

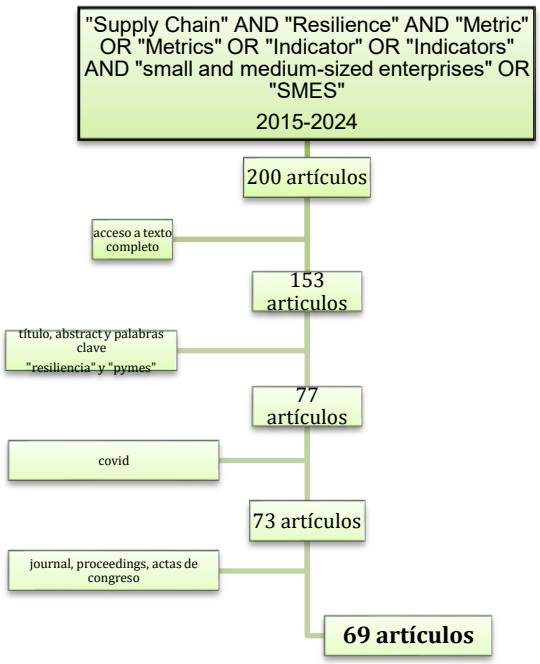


Figura 2: Metodología de búsqueda y revisión de literatura. Fuente: Elaboración propia

2.2. Proceso Analítico de Jerarquías

Los modelos multicriterio se emplean en el caso de escenarios que presentan múltiples dimensiones. Dentro de estos modelos el Proceso Analítico de Jerarquías (PAJ) es una herramienta especialmente útil cuando las decisiones son complejas y requieren considerar múltiples factores y/o actores. Es una metodología de trabajo sencilla, lógica y estructurada, basada en la descomposición del problema en una estructura jerárquica. (Martínez Rodríguez, 2007)
El proceso requiere que quien toma las decisiones proporcione evaluaciones objetivas y/o subjetivas, respecto a la importancia relativa de cada uno de los criterios que se seguirán para tomar la decisión y que especifique su preferencia con respecto a cada una de las alternativas de decisión referida a cada criterio. El resultado del PAJ muestra la prioridad total de las alternativas de decisión respecto a la meta (Toskano Hurtado, 2015).
Para tomar una decisión en forma organizada, es necesario seguir los siguientes pasos, (Saaty, 2008):

1. Definir el problema, estableciendo sus componentes o elementos relevantes.
2. Estructurar la jerarquía del problema. Para ello, se elabora una representación gráfica del problema en función de la meta global, los criterios a ser usados y las alternativas de decisión
3. Establecer las preferencias: El PAJ, requiere a quien toma las decisiones, señalar un juicio de valor con respecto a todos los elementos de un nivel, referido a cada uno de los elementos del nivel inmediato superior. Se utilizan matrices de comparaciones pareadas para establecer dichas preferencias. Las comparaciones pareadas son las bases fundamentales del PAJ. Se emplea la escala de Saaty con valores de 1 a 9, como se muestra en Tabla 2, para calificar las preferencias relativas de los elementos. Se debe calcular el índice de consistencia de los juicios para poder validar la matriz y el vector de prioridad.
4. Priorizar y sintetizar: En un problema jerarquizado, las prioridades pueden ser locales, globales o totales.

Tabla 2: Escala de Saaty. Fuente: Toskano Hurtado (2015)

Planteamiento verbal de la preferencia	Calificación Numérica
Extremadamente preferible	9
Entre muy fuertemente y extremadamente preferible	8
Muy fuertemente preferible	7
Entre fuertemente y muy fuertemente preferible	6
Fuertemente preferible	5
Entre moderadamente y fuertemente preferible	4
Moderadamente preferible	3
Entre igualmente y moderadamente preferible	2
Igualmente preferible	1

Cuando se plantean los juicios de dos o más expertos, existen básicamente dos modos filosóficos distintos de agregar la información individual. La elección va a depender si el grupo quiere actuar en conjunto o en forma separada (Forman & Peniwati, 1998) .
Uno de los modos consiste en trabajar con el grupo en conjunto formando uno nuevo a partir de la agregación de los juicios individuales (AIJ) en cada nivel de la jerarquía. Esto produce la pérdida tanto de identidad como de las preferencias individuales de los participantes a favor de una combinación sinérgica, que actúa como única. Dicha combinación debe satisfacer la condición de reciprocidad de los juicios. Saaty (2008) propone la utilización de la media geométrica como la única forma de sintetizar en un solo juicio representativo las opiniones de todos los participantes en la toma de decisiones.
El otro modo, es cuando los participantes actuando en forma separada con distintas valoraciones del sistema, desean mantener su independencia e identidad. En este contexto, el proceso de agregación se realiza al final, una vez obtenidas las prioridades individuales (AIP). Dicha combinación se puede realizar tanto a través de la media aritmética (representativa de un intervalo promedio) o media geométrica (representativa de un cociente promedio). Forman y Peniwati (1998) sostienen que la media geométrica es una medida consistente, ya que en el AHP se utilizan escalas de razón, donde se evalúa cuantas veces es más preferible una alternativa frente a otra.

2.2.1 PAJ de calificación

Cuando se presenta en un problema el análisis de alternativas independientes o su número es superior a nueve, se modifica el PAJ tradicional ya que no se necesita la comparación pareada de las alternativas entre sí. En estos casos, se emplea medidas absolutas o también llamadas de calificación o *ratings* donde la elección se realiza en término de las intensidades de calificación para cada criterio. El modelo de *ratings* resuelve este problema construyendo una escala categórica o estándar, donde las alternativas son comparadas en relación con esta escala. Se requiere elegir a priori una escala categórica de varios niveles para cada indicador definido en cada criterio.
Los pasos de esta metodología son similares a los del PAJ tradicional, reemplazando la comparación pareada de las alternativas respecto de cada criterio por la comparación de cada alternativa frente a la escala de cada criterio.
El puntaje final o síntesis de cada alternativa se obtiene por medio de la siguiente agregación multiaditiva, Ecuación (1) (Curchod & Alberto, 2014)

$$s_j = \sum_i w_i r_{ij} \qquad (1)$$

Donde:

$w_i = peso\ relativo\ del\ criterio\ i$
$r_{ij} = calificación\ (criterio\ i\ y\ alternativa\ j)$
$s_j = puntaje\ de\ evaluación\ de\ la\ alternativa\ j$

4. RESULTADOS

En este apartado en primera instancia se presentan los resultados de la RSE. Posteriormente, y utilizando los principales hallazgos de la búsqueda referidos a los factores que afectan a la resiliencia, se propone un esquema para la obtención del índice de resiliencia "s_j"

4.1. Análisis bibliométrico de la revisión

4.1.1. Distribución en el tiempo

La Figura 3 representa la evolución del número de publicaciones a lo largo de los años en el período considerado (2015-2024).



Figura 3: Cantidad de publicaciones por año. Fuente: Elaboración propia

De la Figura 3 se desprende que alrededor del 75% de las publicaciones vinculadas a la resiliencia de la cadena de suministro se realizaron a partir del año 2020. Esto demuestra la marcada influencia de la disrupción en las cadenas de suministro generada por la pandemia de COVID que impulsó a las comunidades académicas a intensificar las investigaciones en el área. Se observa una disminución en el año 2024, que se atribuye al momento de realizar la revisión (abril 2024).

4.1.2 Distribución geográfica

La Figura 4 presenta los países que se han analizado en los artículos. Se observa que todos los continentes están representados lo que indica que es un tema relevante a nivel mundial y que grandes potencias económicas como India, Australia e Inglaterra tienen la mayor cantidad de investigaciones (alrededor del 43%). Por otra parte, hay sólo 4 trabajos realizados en América del Sur, 2 en Brasil y 2 en Colombia. Resulta llamativo dada las características de los países de dicho continente, en su mayoría economías emergentes, en los que se asume la necesidad de investigaciones que contribuyan al desarrollo de esta temática.

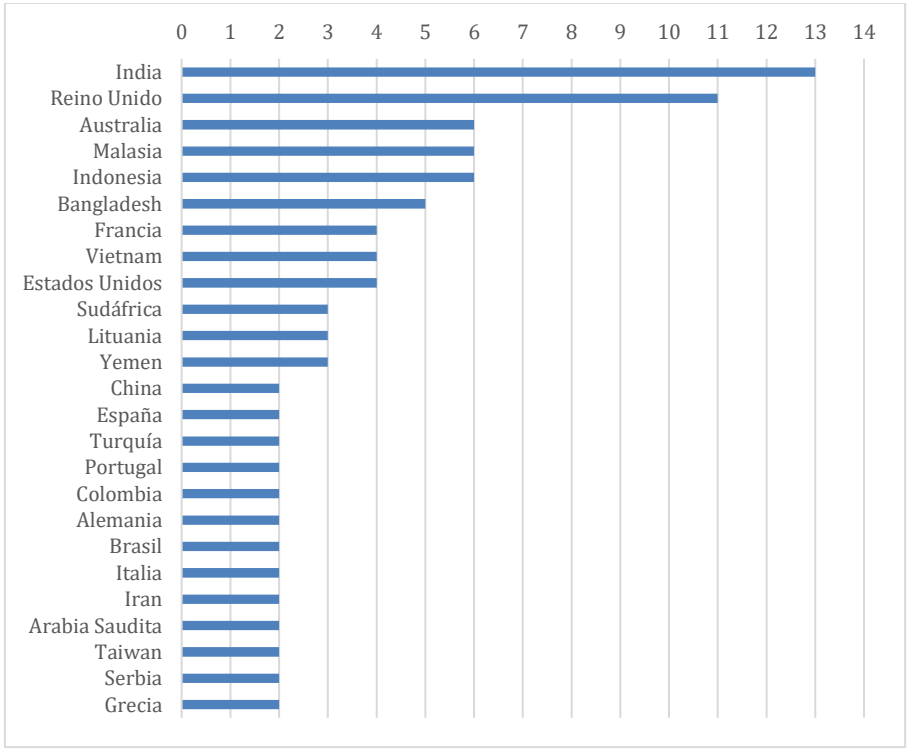


Figura 4: Distribución geográfica de las investigaciones. Fuente: Elaboración propia

4.1.4 Metodologías de investigación

Todos los artículos se clasificaron según su enfoque metodológico más importante, de acuerdo con la descripción de sus trabajos por parte de los autores. En la Figura 5 se presentan las metodologías utilizadas. Se desprende de la misma que un número significativo de los artículos (casi el 40%) se basaron en encuestas y mientras que las revisiones bibliográficas e investigaciones conceptuales

fueron también metodologías muy utilizadas (13% de los casos cada una). Se observa una diferencia entre estos resultados y los de las investigaciones de Saad *et al.* (2021). Ellos encuentran que los trabajos conceptuales son lo de mayor proporción, siguiendo las encuestas y estudios de caso. Esto se atribuye a que en el momento de dicha investigación la pandemia estaba ingresando en su fase final y sus efectos eran, además de importantes, mucho más visibles. La comunidad científica entonces requería de modelos que permitieran inferir el comportamiento de las cadenas de suministro antes las disrupciones. Los resultados indican que, en los últimos años, las necesidades tanto en la academia como en el mundo empresarial han variado hacia el intento de validar los enfoques conceptuales propuestos.

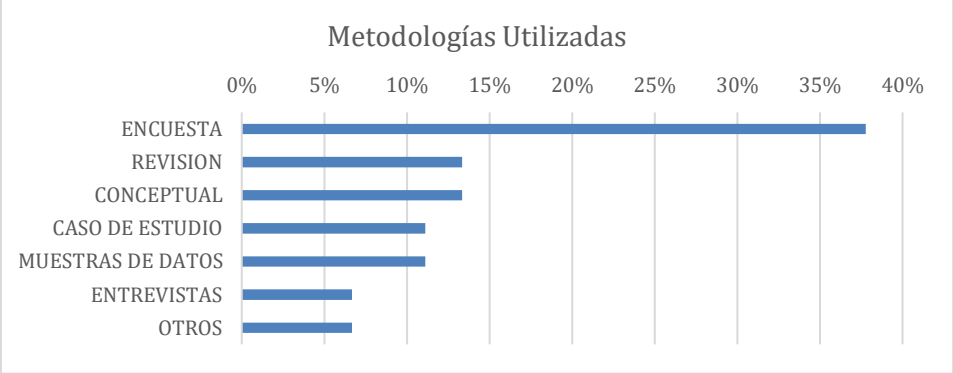


Figura 5: Metodologías utilizadas en las investigaciones. Fuente: Elaboración propia.

4.1.5 Factores de resiliencia

Como se mencionó anteriormente, la SCR es la capacidad de lidiar con interrupciones temporales en la cadena de suministro. Los factores de resiliencia se entienden como aquellas características de la cadena de suministro que mejoran dicha capacidad.

La revisión realizada permitió identificar aquellos factores que más recurrentemente se citan y se presentan en la Figura 6.

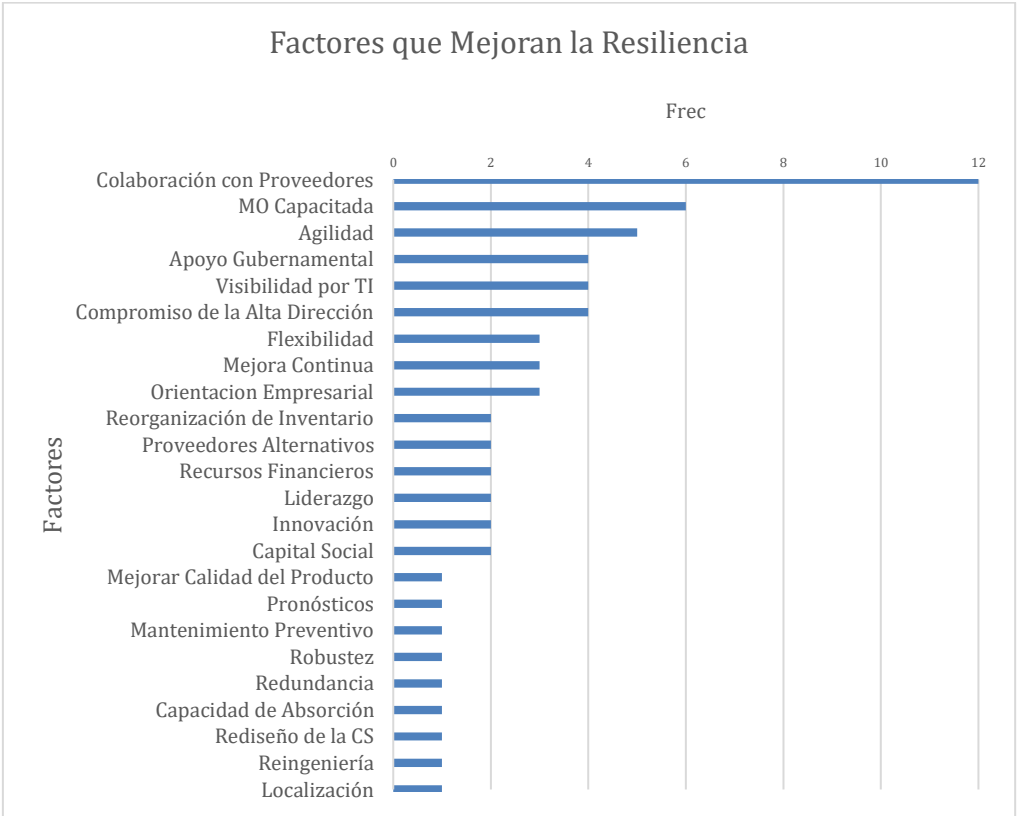


Figura 6: Factores de resiliencia. Fuente: Elaboración propia

Como se desprende de la misma, los 6 factores que más inciden en la resiliencia de una PyME son:

F1: Colaboración con Proveedores. Es el factor más citado. Se define como una relación estratégica en la cual ambas partes trabajan de manera conjunta para alcanzar objetivos comunes. En lugar de una relación transaccional puramente basada en el costo, esta colaboración busca generar beneficios mutuos a largo plazo, tales como la optimización de la cadena de suministro, la innovación conjunta, la mejora de la calidad y la eficiencia operativa.

F2: Mano de Obra Capacitada: se refiere a trabajadores que poseen las habilidades, conocimientos y competencias necesarias para realizar de manera eficiente tareas específicas dentro de un entorno laboral. Esto le brinda a la organización la flexibilidad necesaria para adaptarse rápidamente a los cambios en el flujo de los materiales.

F3: Agilidad de la CS: La agilidad de la cadena de suministro se refiere a la capacidad de una organización para ajustar rápidamente sus operaciones, procesos de producción y gestión de inventario en respuesta a cambios en la demanda, la oferta y el mercado en general. Esto implica ser capaz de adaptarse eficientemente a fluctuaciones repentinas, como picos de demanda o escasez de materias primas, y tomar decisiones basadas en datos en tiempo real. Las empresas ágiles suelen aplicar en sus procesos metodologías tales como *lean manufacturing*, Six sigma, Scrum, entre otras.

F4: Importancia del Apoyo Gubernamental. El apoyo gubernamental es crucial para fortalecer la resiliencia en PyMEs. El apoyo gubernamental puede implicar acciones que faciliten el acceso a financiamiento, implementación de programas de asesoramiento y de formación, regulaciones impositivas, entre otros.

F5: Visibilidad por Tecnologías de la Información. Se refiere a la capacidad de una empresa para rastrear y monitorear todos los componentes y procesos involucrados en su cadena de suministro, desde la adquisición de materias primas hasta la entrega final de productos o servicios al cliente. Esta visibilidad permite a las empresas tomar decisiones informadas, anticipar problemas y optimizar sus operaciones para mejorar la eficiencia y la satisfacción del cliente. La visibilidad de la cadena de suministro es crucial para evitar errores operativos, reducir costos y minimizar retrasos en la entrega Las tecnologías de la información brindan a las empresas esta posibilidad.

F6: Compromiso de la Alta Dirección: Se refiere a la dedicación y responsabilidad que los líderes de una organización asumen para garantizar el éxito e implementación efectivos de las estrategias y objetivos de la empresa. Para ello se deben definir metas y estrategias específicas que incluyan a la resiliencia, asignar los recursos necesarios, fomentar una cultura organizacional de resiliencia, promoviendo valores como flexibilidad, adaptabilidad en innovación, en todas las áreas de la organización, entre otras.

Zhang *et al*. (2023) a partir de los resultados de su revisión bibliográfica, concluyen que los 7 factores impulsores de la resiliencia en empresas no identificadas como PyMEs son:

1. Agilidad de la CS
2. Estructura de la CS
3. Visibilidad de la CS
4. Intercambio de información
5. Distribución de riesgos en ingresos
6. Distribución geográfica
7. Colaboración con los socios de la CS

Estos resultados evidencian cómo influyen las características de las PyMEs al momento de evaluar la resiliencia. Si bien existen elementos comunes como la agilidad, visibilidad, colaboración con los socios, en el caso de PyMEs aparecen otros tales como el compromiso de la alta dirección y la importancia del apoyo gubernamental como factores importantes de apoyo a mejorar la resiliencia.

4.2 Propuesta de índice de resiliencia

El objetivo es el de hallar un índice que permita a una organización PyME de la región de Mar del Plata medir su resiliencia y, a partir de los resultados, generar acciones direccionadas a mejorarlo.
Para ello se propone una metodología que comprende dos pasos:

I. Determinación de la importancia de los factores de resiliencia

Considerando los factores encontrados en la bibliografía se consulta a los expertos de las empresas de la región para que evalúen la importancia relativa de los mismos. Para ello se recurre a una matriz de comparaciones pareadas, en la cual dichos factores se ponderarán de acuerdo con la escala de Saaty.

Esta matriz, normalizada y evaluada su consistencia, permitirá determinar la importancia relativa de los factores según el juicio de expertos. Los juicios de los distintos expertos se agregarán siguiendo el criterio AIJ, por lo que se agregarán utilizando la media geométrica.
Como resultado de este proceso, se obtiene el vector de pesos *W*

$$W = (w_{1,} w_2, w_3, w_4, w_5, w_6)$$

II. Determinación del índice de resiliencia sj para la empresa "j"

Para evaluar la resiliencia de una empresa en particular "j" se propone que un experto de dicha empresa, a través de un cuestionario (Tabla 4), califique cada criterio para su empresa. Se recurre a la siguiente escala de Likert, que se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3: Escala de Likert: Elaboración propia

Valor	Significado
1	no
2	poco
3	moderadamente
4	mucho
5	totalmente

Tabla 4: Cuestionario empresa j Fuente: Elaboración propia

Calificación r_i	Factor *i*	1	2	3	4	5
r_1	Existen mecanismos de colaboración con sus proveedores (TI, compromisos formales o informales)					
r_2	Considera que su mano de obra está debidamente capacitada (existen cursos de capacitación, MO incentivada y flexible)					
r_3	Implementan metodologías ágiles en sus procesos					
r_4	Considera que el gobierno (municipal, provincial o nacional) tiene herramientas de apoyo financiero					
r_5	Poseen TI que permitan visualizar sus procesos en la Cadena de Suministro					
r_6	Considera que existe un compromiso de la alta dirección hacia volverse una organización cada vez más resiliente					

r_{ij} es la calificación que evalúa la empresa "*j*" respecto del factor *i*

El valor del indicador de resiliencia s_j se calcula aplicando la Ecuación (1)

$$s_j = \sum_i w_i r_{ij} \qquad (2)$$

5. CONCLUSIONES.

La Revisión Sistemática de Literatura permitió visualizar el conocimiento científico vinculado a la resiliencia en PyMEs. Se desprende de dicha revisión que:

- A pesar de que las PyMEs son impulsoras de economías nacionales, existe poca producción referida a la resiliencia en este tipo de empresas.
- Se observa que todos los continentes están representados lo que indica que la resiliencia es un tema relevante a nivel mundial.
- Mas del 40% de los trabajos corresponden a países desarrollados (India, Australia e Inglaterra), significando que el problema de la resiliencia en PyMEs ha sido poco abordado en economías emergentes;
- Casi el 40% de los artículos se basaron en encuestas, mientras que las revisiones bibliográficas e investigaciones conceptuales fueron también metodologías muy utilizadas (13% de los casos cada una).
- Finalmente, se definen como los factores que más influyen en la resiliencia a la colaboración con socios de la cadena, mano de obra capacitada, agilidad de la CS, importancia del apoyo gubernamental, visibilidad por TI y compromiso de la dirección

A partir de los resultados de la revisión y considerando los factores que más influyen en la resiliencia, se planteó un esquema para obtener el índice de resiliencia de una organización. El índice hallado le permitirá a la organización tomar decisiones que la orienten a mejorar su resiliencia.

4. REFERENCIAS.

Bak, O., Shaw, S., Colicchia, C. & Kumar, V. (2023). A Systematic Literature Review of Supply Chain Resilience in Small-Medium Enterprises (SMEs): A Call for Further Research. *IEEE Transactions on Engineering Management*, *70*(1), 328–341. https://doi.org/10.1109/TEM.2020.3016988

Bruckler, M., Wietschel. L., Messmann, L., Thorenz, A. & Tuma, A. (2024). Review of metrics to assess resilience capacities and actions for supply chain resilience. *Computers & Industrial Engineering*, *192*.

Chowdhury, M. M. H. & Quaddus, M. (2017). Supply chain resilience: Conceptualization and scale development using dynamic capability theory. *International Journal of Production Economics*, *188*(September 2015), 185–204. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.03.020

Christopher, M. & Peck, H. (2004). Building the resilient Supply Chain. *The International Journal of Logistics Management*, *15*(2), 1–13.

Curchod, M. & Alberto, C. (2014). Performance of Justice in Argentina. AHP Ratings Model". Aplicación de Multi-Metodologías. *La Gestión y Evaluación de Sistemas Sociales y Tecnológicos, Tomo II,* 35–45.

Forman, E. & Peniwati, K. (1998). Aggregating Individual Judgments and Priorities with the Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, *108*, 165–169.

Juttner, U. & Maklan, S. (2011). Supply chain resilience in the global financial crisis: An empirical study. *Supply Chain Management: An International Journal*, *16*(4), 246–259.

Khojasteh, Y. (2018). Supply chain risk management: Advanced tools, models, and developments. In *Supply Chain Risk Management: Advanced Tools, Models, and Developments* (pp. 1–334). https://doi.org/10.1007/978-981-10-4106-8

Linnenluecke, M. & Griffiths, A. (2010). Beyond adaptation: Resilience for business in light of climate change and weather extremes. *Bus. Soc*, *49*.

Martínez Rodríguez, E. (2007). Aplicación del Proceso Jerárquico de Análisis en la Selección de la Localización de una PYME. *Anuario Jurídico y Económico Escurialense*, *40*, 523–542.

Peck, H. (2005). Drivers of supply chain vulnerability: An integrated framework. *Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, *35*, 210–232.

Poulin, C. & Kane, M. B. (2021). Infrastructure resilience curves: Performance measures and summary metrics. *Reliability Engineering & System Safety*, *216*.

Saad, M. H., Hagelaar, G., van der Velde, G. & Omta, S. W. F. (2021). Conceptualization of SMEs' business resilience: A systematic literature review. *Cogent Business and Management*, *8*(1). https://doi.org/10.1080/23311975.2021.1938347

Saaty, T. (2008). Decision Making with the Analytic Hierarchy Process. *Int. J. Services Sciences*, *1*, 83–98.

Toskano Hurtado, G. (2015). El Proceso de Análisis Jerárquico como Herramienta para la Toma de Decisiones en la Selección de Proveedores. *Tesis de La Facultad de Ciencias Matemáticas. Universidad Nacional de San Marcos. Lima.Perú*. http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Basic/toskano_hg/toskano_hg.pdf.

Zhang, H., Jia, F. & You, J. X. (2023). Striking a balance between supply chain resilience and supply chain vulnerability in the cross-border e-commerce supply chain. *International Journal of Logistics Research and Applications*, *26*(3), 320–344. https://doi.org/10.1080/13675567.2021.1948978

CoINI 2024
UTN·La Plata
XVII CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y AFINES

D – Industrias del Conocimiento

"REDISEÑO DE LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA EN UNA EMPRESA DE PRODUCTOS SALUDABLES: UN ENFOQUE BASADO EN SIMULACIÓN"

Gramigna Maciel, Nehuen; Tabone, Luciana

[1]*Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata*
gnehu.martin@gmail.com; ltabone@fi.mdp.edu.ar

RESUMEN

Este trabajo presenta un caso de estudio de una empresa especializada en el desarrollo y fabricación de productos para el cuidado de la salud, como suplementos nutricionales, medicamentos herbarios e infusiones de frutas y hierbas. A pesar del éxito sostenido en los últimos años, con procesos de expansión y mejora de sus operaciones, se ha identificado una oportunidad de mejora en la distribución física de sus instalaciones. El objetivo de este trabajo es diseñar y analizar y seleccionar nuevas propuestas de distribución en planta para la empresa mediante un enfoque de simulación de sistemas y análisis de escenarios. Se conforman una serie de familias de productos cuyos sistemas productivos se modelan utilizando un programa de simulación de eventos discretos. Los resultados obtenidos se analizan de manera cuantitativa y cualitativa, identificando diversas oportunidades de mejora. Estas oportunidades se traducen en propuestas de distribución en planta, cuyos sistemas también se modelan y simulan. Los resultados estadísticos obtenidos permiten generar un conjunto de indicadores de desempeño para analizar las alternativas respecto a variables de interés como: distancias recorridas, pesos transportados, aprovechamiento del espacio, utilización de equipos y volúmenes de producción. Como trabajo futuro, se propone abordar el proceso de evaluación y selección de la mejor distribución mediante un enfoque multicriterio, permitiendo elegir la opción que mejor se ajuste a las características y necesidades de la empresa y su cadena de suministro.

Palabras Claves: distribución en planta, simulación, sistema productivo, productos saludables.

ABSTRACT

This paper presents a case study of a company specialized in the development and manufacturing of health care products, such as nutritional supplements, herbal medicines, and fruit and herbal infusions. Despite sustained success in recent years, with expansion processes and improvements in its operations, an opportunity for improvement in the physical layout of its facilities has been identified. The aim of this study is to design, analyze, and select new facility layout proposals for the company using a system simulation approach and scenario analysis. Several product families are formed, whose production systems are modeled using a discrete event simulation program. The results obtained are analyzed quantitatively and qualitatively, identifying various opportunities for improvement. These opportunities translate into layout proposals, which are also modeled and simulated. The statistical results obtained allow for the generation of a set of performance indicators to analyze the alternatives with respect to variables of interest such as distances traveled, weights transported, space utilization, equipment utilization, and production volumes. As future work, it is proposed to address the evaluation and selection process of the best layout using a multi-criteria approach, allowing for the selection of the option that best suits the characteristics and needs of the company and its supply chain.

Keywords: facility layout, simulation, production system, healthy products.

1. INTRODUCCIÓN

La eficiente utilización de los recursos, la calidad ofrecida al cliente y la integración de funciones son objetivos esenciales para cualquier organización que aspire a mantenerse competitiva. La empresa en cuestión se especializa en el desarrollo y fabricación de productos para el cuidado de la salud, como suplementos nutricionales, medicamentos herbarios e infusiones de frutas y hierbas. Inició sus actividades hace cerca de 30 años y ha logrado expandir su comercio y estructura gracias a la continua aplicación de estos tres principios. En este sentido, la formación e incorporación de mano de obra calificada y la evolución tecnológica de su equipamiento han sido herramientas fundamentales para fortalecer la función de operaciones. Sin embargo, la empresa percibe una oportunidad de mejora en la distribución física de sus instalaciones, y es precisamente en este aspecto donde el presente trabajo busca agregar valor.

La complejidad de las operaciones en los sistemas productivos requiere de modelos que se ajusten a esta realidad y que permitan un análisis profundo y detallado. Como el número de factores a ser considerados en la toma de decisiones son elevados, se suele recurrir a herramientas de soporte que contribuyan a encontrar la mejor solución al problema abordado (Valqui Vidal, 2010). La magnitud y el contexto de un proyecto de mejora de instalaciones físicas requieren un análisis particularmente objetivo del sistema productivo y es aquí donde la simulación de sistemas adquiere un papel relevante como soporte al proceso de toma de decisiones (Mortara et al., 2021).

La simulación permite predecir el comportamiento de un sistema productivo mediante el registro de los procesos que se desarrollan y la interacción entre sus componentes. Es una técnica que estudia el comportamiento de un sistema real experimentando con un modelo que lo representa (Ijaz, 2024). El modelo está formado por expresiones matemáticas y relaciones lógicas entre los componentes fundamentales del sistema y permite calcular el valor de las salidas de interés dadas las entradas controlables del sistema. El objetivo del proceso es la ejecución del modelo a través del tiempo, para generar mediciones de determinados valores de eficiencia del sistema. Es especialmente útil cuando se trata de escenarios que no pueden ser resueltos aplicando métodos analíticos, debido a su complejidad o a la aparición de variables cualitativas y relaciones y funciones no expresadas analíticamente (Alberto & Carignano, 2023; Dunna et al., 2013). Como el número de factores a ser considerados en la toma de decisiones sobre procesos productivos son elevados, se suele recurrir a herramientas informáticas a fin de que contribuyan a encontrar la mejor solución. Utilizando un software de simulación es posible describir el comportamiento del sistema en forma dinámica y considerando además a los procesos en forma estocástica, lo que significa que se puede estudiar la ocurrencia de los acontecimientos en forma aleatoria (Izquierdo et al., 2008).

Es por ello que el objetivo del presente trabajo es diseñar y analizar propuestas de mejora para la distribución en planta de la empresa bajo estudio bajo un enfoque de simulación de sistemas y análisis de escenarios, permitiendo sistematizar y reducir los niveles de riesgo e incertidumbre en el proceso de toma de decisión.

2. METODOLOGÍA

La metodología propuesta se basa en un caso de estudio abordado mediante una investigación mixta, cualitativa y cuantitativa. Inicialmente se analizan datos en forma descriptiva y luego, mediante la aplicación de las herramientas propuestas, se realizan cálculos matemáticos para proponer alternativas de mejora a la distribución en planta de la empresa bajo estudio.

En una primera etapa, se realiza un relevamiento y análisis de la distribución en planta, los procesos productivos y los flujos de materiales presentes en la actualidad. La segunda etapa consiste en identificar y definir oportunidades de mejora para la distribución actual y determinar los factores técnicos y físicos que estas deben contemplar. Finalmente, se proponen alternativas de rediseño de la distribución, haciendo uso de herramientas de modelado y simulación de escenarios.

Con el objeto de considerar, tanto las necesidades operativas actuales como las futuras, se estableció un horizonte temporal de cinco años para su desarrollo. Dicho plazo se definió en base a dos restricciones principales. La primera es que el periodo sea lo suficientemente extenso como para tomar en consideración la potencial adquisición de un terreno lindero al actual en su desarrollo. La segunda, que sea lo suficientemente inmediato como para manejar una incertidumbre aceptable por la firma.

El intercambio de información con la empresa se llevó a cabo mediante entrevistas no estructuradas, tanto de forma presencial, como virtual. Los datos relevados fueron volcados en distintas plataformas

virtuales, que conformaron el entorno de trabajo del proyecto. Para el análisis de información relativa a variables operativas de interés, como participación en ventas por producto; tiempos de ciclo, frecuencias de expedición y pedidos; se utilizó Microsoft Excel. El relevamiento de flujos de operación se plasmó en una serie de diagramas de flujo desarrollados mediante Microsoft Visio. Para el modelado del sistema productivo, se procedió a representar la oferta de productos de la organización, en una serie subconjuntos acotados. Aquí, se buscó facilitar su representación, disminuir el costo computacional de la simulación, y minimizar la perdida de información. Para ello, se crearon familias de producto aplicando el principio de Pareto con respecto a la participación en los volúmenes de fabricación y flujos de proceso compartidos. Conformadas estas familias, se volcó, tanto la información operativa, como la secuencia lógica de procesos relevadas, al programa de simulación Flexsim®, en su versión estudiantil. Siendo esta la herramienta central de análisis cuantitativo de la distribución actual, y las propuestas elaboradas. Por consiguiente, se generó un conjunto de indicadores de desempeño para evaluar alternativas con respecto a variables de interés como: distancias recorridas; pesos transportados; aprovechamiento de espacio; utilización de equipos, entre otras.

2.1 Etapas del proceso de simulación

A continuación, se enumeran los pasos básicos para llevar a cabo un estudio de simulación, pudiendo suprimir o agregar otros según la problemática abordada (Dunna et al., 2013):

1. Definición del sistema bajo estudio: Requiere conocer que origina el estudio de simulación y establecer sus supuestos. Se definen las variables de decisión del modelo, sus elementos e interacciones, y el alcance del modelo.
2. Generación del modelo base: Se realiza sin demasiado detalle con el objetivo de traducir la información recabada en el paso anterior, incluidas las interrelaciones entre elementos.
3. Recolección y análisis de datos: Se recolectan los datos necesarios para establecer las distribuciones de probabilidad de las variables aleatorias necesarias para la simulación.
4. Generación del modelo preliminar: Se integra la información obtenida en el paso anterior, los supuestos del modelo, y los datos adicionales necesarios para lograr un modelo más cercado a la realidad. En caso de no contar con información estadística podrán utilizarse variables determinísticas, o sugerir distribuciones de probabilidad comúnmente asociadas al proceso que se desea incluir en el modelo.
5. Verificación del modelo: Se comprueba la programación del modelo, y que todos los parámetros funcionen correctamente.
6. Validación del modelo: Consta de realizar pruebas con entradas reales para observar el comportamiento y analizar los resultados del modelo. Esta etapa se puede validar con el comportamiento del sistema real, en caso que sea conocido, o con las expectativas de comportamiento basadas en la experiencia del encargado del modelado o alguna parte interesada.
7. Generación del modelo final: El modelo está listo para realizar la simulación. En caso de que se quieran analizar múltiples escenarios, este modelo será el modelo original.
8. Determinación de los escenarios para el análisis: Se modelan los escenarios a analizar. Una forma de facilitar este proceso es plantear un escenario pesimista, uno optimista y otro intermedio. Es fundamental considerar el costo computacional, para evaluar todos los escenarios.
9. Análisis de sensibilidad: Se realizan pruebas estadísticas que permitan comparar los escenarios con los mejores resultados finales, haciendo hincapié en los intervalos de confianza.
10. Documentación del modelo, sugerencias y conclusiones.

2.2 Precisión aceptada y numero de réplicas del modelo

El Intervalo de confianza (IC) es aquel intervalo que se espera incluya el valor de la variable de salida del modelo, el $(1-\alpha)$ porciento de las veces que se calcule a partir de estimadores no sesgados de dicho parámetro. El valor $(1-\alpha)$ recibe el nombre de nivel de confianza. Dada una variable de salida del modelo de simulación, si la misma esta normalmente distribuida, su IC es:

$$IC = \left[\bar{Y} - t_{\frac{\alpha}{2};R-1}\frac{S}{\sqrt{R}}\,,\bar{Y} + t_{\frac{\alpha}{2};R-1}\frac{S}{\sqrt{R}}\right] \quad (1)$$

Donde R será el número de réplicas que se corrieron de dicho modelo, $t_{\frac{\alpha}{2},R-1}$ es el valor crítico obtenido por tablas estadísticas, para una distribución t de Student, con $R-1$ grados de libertad, y un nivel de confianza de $(1-\alpha)$.

Dada la fórmula para obtener el IC de la variable de interés, es posible aumentar el número de réplicas de manera que sea lo suficientemente grande para obtener un IC menor a una precisión admisible $\pm\in$. Matemáticamente, si $\bar{Y}$ es el estimador de θ, se debe hallar el número de réplicas R que satisfaga (Carson & Nelson, 2014):

$$P(|\bar{Y}-\theta| \leq \in) \geq 1-\alpha \quad (2)$$

Para esto, se comienza corriendo $R_0 \geq 2$ replicas iniciales, siendo 10 el mínimo deseable. Esto nos permite obtener el estimador inicial de la desviación estándar poblaciones, S_0.

Se debe hallar un $R \geq R_0$, tal que (Carson & Nelson, 2014):

$$R \geq \left(\frac{z_{\frac{\alpha}{2}} S_0}{\in}\right)^2 \quad (3)$$

Luego de determinar R, deben simularse $R-R_0$ réplicas adicionales – o simular R réplicas nuevas -, y calcular el intervalo de confianza siguiendo la ecuación 1.

3. DESARROLLO

3.1 Descripción de la empresa

La organización bajo estudio fue fundada en el año 1994, dedicada a la elaboración de suplementos nutricionales e infusiones en saquitos. En sus casi tres décadas de actividad ha logrado competir en mercados B2C y B2B en base al desarrollo de dos prioridades competitivas: calidad superior; y variedad. Su cartera de productos está compuesta por aproximadamente 237 variedades, el 36% son suplementos y 64% corresponden a infusiones. Todas sus funciones se desarrollan en su sede central, situada en un predio de 5,800 m², dentro del Parque Industrial de Mar del Plata. Las instalaciones constan de 3,260 m² totales.

Analizando su estrategia de operaciones, ha reforzado sostenidamente sus prioridades competitivas aplicando Buenas Prácticas de Fabricación y Control, y certificando la elaboración de suplementos según las normas internacionales FSSC 22.000 sobre Seguridad e Inocuidad Alimentario. Esto le ha permitido, no solo la diferenciación local mencionada anteriormente, si no la expansión hacia mercados extranjeros. En la actualidad, exportan alrededor del 20% de su producción a destinos como Perú, Venezuela, Uruguay, y países de Europa. En lo que respecta a su estrategia de expansión de capacidad, se califica como intermedia, buscando afrontar aumentos de la demanda mediante la utilización de dobles turnos o la aplicación de ingeniería de procesos en estaciones limitantes mediante su equipo de mantenimiento.

La empresa está atravesando un proceso de crecimiento sostenido desde hace ya varias décadas, el mismo ha sufrido mermas y vaivenes producto de los ciclos económicos locales e internacionales, siendo el último periodo negativo el año 2020. Sin embargo, desde la organización sostienen que la tendencia creciente, sujeta a cuestiones coyunturales, seguirá manteniéndose.

Además, en base al comportamiento diferenciado en ventas históricas que vienen mostrando los suplementos con respecto a las infusiones, es que se proyectan dos tasas de crecimiento distintas. Por el lado de los suplementos, es la línea de productos más joven de la organización y han obtenido aceptación en mercados locales e internacionales. Con lo cual, se muestran con mayor potencial de expansión y se espera duplicar su producción durante los próximos cinco años. En cuanto a las infusiones, siendo una oferta tradicional y más madura, sus proyecciones para el horizonte estipulado estiman un aumento del 30% en su producción.

3.2 Descripción y análisis de los procesos

La estrategia de procesos adoptada se caracteriza, en primer lugar, por un grado de participación del cliente medio, traccionado en mayor medida por las especificaciones solicitadas por sus clientes industriales, que implican el aprovisionamiento de insumos personalizados. La organización también ha decidido operar bajo una estructura de procesos de lotes grande o chicos, según el producto en cuestión. En la transformación de estos lotes se observan procesos de una intensidad de capital media-

alta. La maquinaria tendrá el rol principal en el agregado de valor a lo largo de toda la cadena de suministros, teniendo esta mayor o menor grado de automatización según el producto elaborado. Sin embargo, la mano de obra está a cargo de gran parte de las actividades de carga, descarga y configuración de los equipos. A continuación, se describen los procesos que forman parte de dicha cadena. La Figura 1 presenta el diagrama de flujo para los cuatro subprocesos principales de las actividades productivas de la organización.

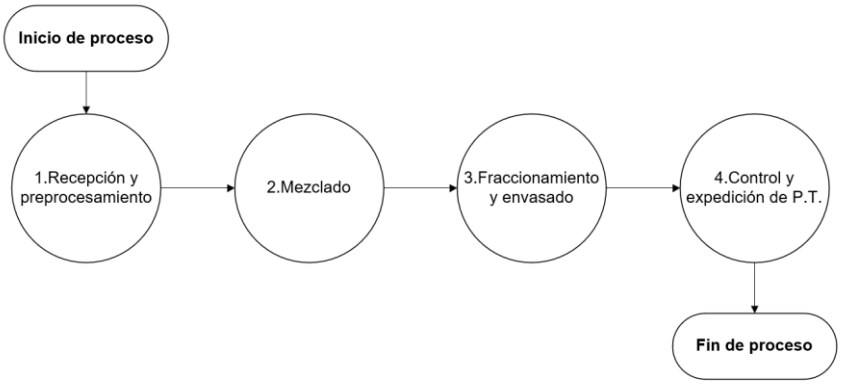


Figura 1: Diagrama de flujo para subprocesos principales. Fuente: Elaboración propia.

El subproceso de recepción y preprocesamiento consta de dos etapas. La primera, compuesta por las actividades de la recepción y descarga, control de cantidades y muestreo para el posterior control de calidad. La segunda, involucra dos actividades de preprocesamiento: la molienda, y la irradiación. Éstas aplican solo a materias primas herbarias, siendo los suplementos en polvo e insumos transportados de forma directa al almacén. Alrededor del 40% de los kilogramos ingresados atraviesan la etapa de molienda, y cerca de un 20% se envían para su irradiación.

El subproceso de mezclado cumple un rol fundamental en la cadena de valor, ya que elaborar la receta correspondiente a cada producto. El proceso comienza con la recolección de las materias primas necesarias, que surgen de las ordenes de producción emitidas, y las recetas anexas que cada elaboración posee. Luego, se procede a la etapa de dosificado, donde se incorporan las cantidades necesarias de cada materia prima en bines plásticos. El tamaño del lote viene dado por la capacidad de la tolva de mezclado. Se inicia el proceso de mezclado, para luego extraer una mezcla homogénea, el producto semielaborado obtenido se dispone en bines plásticos y se almacena en el depósito correspondiente.

El subproceso de fraccionamiento y envasado es el punto de divergencia principal para los flujos de operación, ya que se observan diferencias marcadas entre la producción de infusiones, y suplementos. Una característica fundamental de estos procesos es que el fraccionado es de carácter volumétrico. Esto implica que el desperdicio en los procesos tenga dos componentes. La primera surge de unidades producidas que no cumplen con estándares mínimos, y se descartan. La segunda es producto de la precisión del fraccionado, la cual varia en relación con la densidad de la mezcla procesada. Si bien se conserva la estructura de procesos por lotes, la organización de algunas estaciones según el tipo de producto evidencia cierta linealidad en las operaciones.

El ultimo subproceso, control y expedición de producto terminado, consta de una serie de etapas iguales para todo tipo de producto. Los lotes de producto terminado provenientes del proceso anterior se trasladan al depósito correspondiente. Allí, entran en un estado de cuarentena, en tanto y en cuanto se realice el muestreo y control de calidad pertinente. De forma similar que las tareas de recepción, el producto terminado se almacena según se trate de una variedad medicinal, o no. Una vez depositados, quedan a la espera de la ejecución de una orden de compra, que inicia el proceso de armado del pedido y expedición.

Para cada subproceso se realiza un análisis detallado de las actividades que lo componen que sirve como información de entrada para modelar el sistema productivo. A modo de ejemplo, se presenta en la Figura 2 el diagrama de flujo del subproceso de fraccionamiento y envasado con la secuencia de operaciones que siguen las infusiones y los suplementos nutricionales.

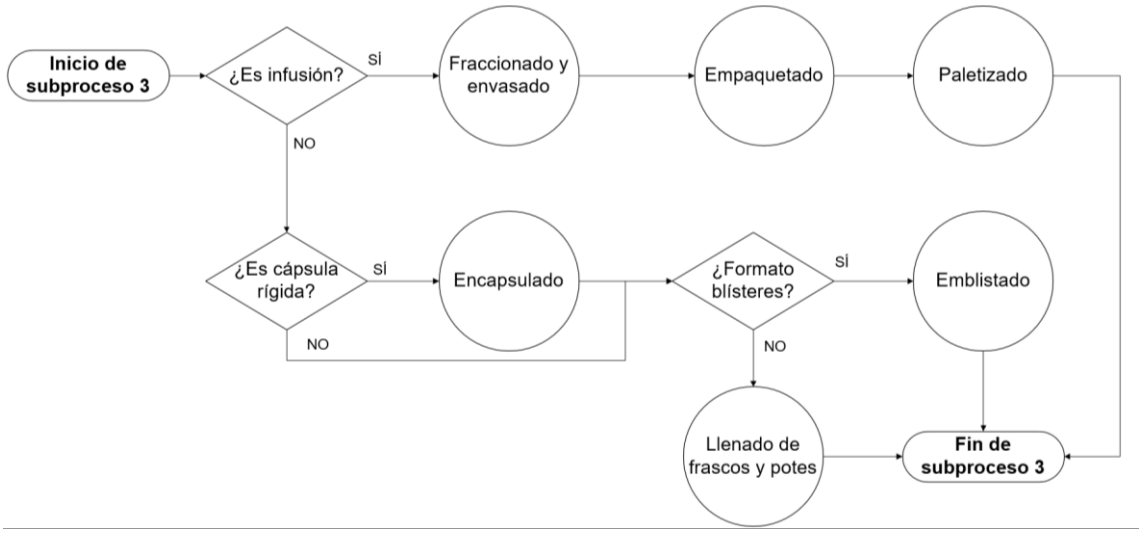


Figura 2: Diagramas de flujo fraccionamiento y envasado. Fuente: Elaboración propia.

3.3 Familia de productos

En función del análisis de Pareto se agrupan las 86 variedades de infusionesen tres familias de productos: medicinales (11%), monohierba (9%) y multihierba (80%). El primero de ellos abarca la totalidad de productos medicinales, cuya consideración particular, a pesar de contar con una participación acotada en ventas (10,8%), se basa en las implicancias en materia de almacenamiento y flujos aislados de elaboración, que devienen del marco regulatorio existente. El segundo, incluye los ocho productos monohierba, los cuales tienen presencia en ventas mayor al 21,6%. Además, muestran marcada diferencia en su flujo de elaboración, ya que no requieren atravesar la etapa de mezclado, ni el uso de equipos de envasado primario. La tercera familia posee participación mayoritaria en ventas (67,6%) y cantidad de productos. Su proceso es relativamente homogéneo en términos de secuencia de operaciones.

Con respecto a los 151 tipos de suplementos nutricionales, se conformaron tres familias de producto: potes (10%), frascos (36%), y blísteres (54%). Esta configuración se basa en las diferencias existentes en las etapas de elaboración de cada producto, y el grado de homogeneidad que tiene cada grupo con respecto a las variedades de insumos y formatos, cuando se considera su participación en ventas. Por un lado, los productos en potes atraviesan una secuencia de etapas idéntica, y más del 95% de sus ventas se explican por productos de igual formato y tipo de insumos. Sin embargo, se tiene en cuenta la divergencia existente en relación con la etapa de empaque a la hora de modelar su elaboración. Siguiendo con los blísteres, concentran casi el 90% de las ventas de cápsulas y el 10% restante de las cápsulas manufacturadas corresponderá al formato en frascos, el cual se opta por diferenciar en una familia independiente fundamentalmente por su secuencia de fabricación, e insumos exclusivos.

3.4 Indicadores de desempeño del modelo

En el diseño del modelo contempla una serie de indicadores cuantitativos relacionados con el desempeño general de la distribución en planta. Los mismos se listan a continuación, y se utilizan también para la evaluación y selección de alternativas propuestas:

- Tasa de planta: Se obtiene del conteo semanal de lotes ingresados efectivamente al depósito de producto terminado y se calcula el promedio de ingresos por familia a lo largo de cada réplica.

$$R_i = \frac{30\,\frac{dias}{mes} \times \frac{5\ dias\ laborales}{7\ dias} \times 8\,\frac{horas}{dia\ laboral}}{Lotes\ semanales\ de\ la\ familia\ i \times \frac{30\ dias\ mes}{7\ dias\ semana}} \left(\frac{horas}{lotes\ familia\ i}\right) \quad (4)$$

- Utilización de las estaciones: obtenida en base a la proporción del periodo simulado en el cual la estación se encuentra realizando alguna de las siguientes tareas: procesamiento; carga; descarga; configuración o limpieza; y espera a operario.

$$Utilización_i = \frac{Tiempo\ total_i - tiempo\ \text{sin}\ ejecutar\ tareas_i}{Tiempo\ total_i} \quad (5)$$

- Distancia de lote: Es la distancia total promedio recorrida durante la producción de un lote, por familia de producto, desde el proceso de mezclado hasta la llegada al depósito de producto terminado.

$$Dlote_i = \frac{Distancia\ total\ recorrida\ para\ fabricar\ la\ familia\ i}{Cantidad\ de\ lotes\ de\ la\ familia\ i\ fabricados}\ [\frac{m}{lote}] \quad (6)$$

- Peso por distancia unitario: Representa el trabajo promedio requerido para la elaboración de la unidad mínima de producto final de cada familia. De esta forma, el indicador de referencia en cada réplica surge del peso por distancia unitario promedio, para k-lotes producidos.

$$PxD_i^k = \frac{\sum_j^n Distancia\ tramo_{j-i}\ \times Peso\ total\ transportado_{j-i}}{Cantidad\ neta\ de\ paquetes\ de\ producto\ i\ en\ el\ lote\ k} \quad (7)$$

- Cantidad de retrocesos: Se toma como referencia el flujo de la materia prima al ingresar a la planta, hasta la expedición del lote de producto terminado. Se determina, mediante la observación del modelo tridimensional y el plano de planta, la cantidad de giros en U que este realiza a lo largo de todo el flujo, excluyendo los traslados en pasillos internos ubicaciones del depósito, pero considerando el recorrido interno del mismo dentro de cada estación de proceso.
- Densidad de almacenamiento: Surge del cociente entre la superficie total de la distribución, y el número de ubicaciones estándar totales que posee. No considera las ubicaciones de depósito que utilizan superficie libre de la planta.
- Colchón de capacidad relativo: Este indicador plasma el colchón de capacidad que posee una familia de productos determinada, relativo a su nivel de producción. El nivel de producción relaciona la demanda actual, con la demanda proyectada al final de horizonte temporal del proyecto, y su objetivo es comparar el colchón de capacidad de escenarios con distinto nivel de producción.

$$C_i^k = \left(Umax_i^k - 100\%\right) \times \frac{Nivel\ de\ producción_i^k}{Nivel\ de\ producción\ máximo_i} \quad (8)$$

$$donde: i: Familia\ de\ producto;\ k: Distribución\ en\ planta\ analizada;$$
$$Umax: Utilización\ de\ la\ estación\ cuello\ de\ botella\ de\ la\ familia\ i, para\ la\ distribución\ k.$$

3.5 Modelado y simulación del sistema

El sistema modelado abarca la totalidad de los procesos descriptos en el apartado 3.2, con excepción del proceso de armado de pedidos y expedición. Debido a esto, es que la tasa de planta del sistema productivo, variable utilizada en la validación de cada modelo, se considera tomando el ingreso al depósito de producto terminado, y no su expedición final. Se utilizan en los modelos variables, tanto determinísticas, como estocásticas, utilizando para estas últimas, valores promedio provistos por la organización y distribuciones de probabilidad comúnmente asociadas a la ocurrencia de los distintos sucesos.

El diseño del modelo se montó sobre un calendario de trabajo real, de 24 horas diarias y siete días semanales. Cada jornada laboral será de 9 horas corridas para toda la mano de obra directa, considerando una hora completa para refrigerios. A los efectos del análisis realizado, se configuro el periodo de 6:00 a 15:00 horas, con un descanso único de 12:00 a 13:00 horas, como jornada laboral matutina; y de 15:00 a 00:00 horas, con descanso entre las 21:00 y las 22:00 horas, como jornada vespertina. Por último, para la simulación de configuraciones en línea, debido a que la entidad de transferencia entre equipos es el lote completo, el tiempo de ciclo asignado es el necesario para procesar un lote completo. La totalidad de equipos se incluyen en la lógica del modelo y se representan de forma tridimensional.

Con el objeto de representar la cantidad y variedad de materias primas e insumos manejados, y ante la necesidad de minimizar el costo computacional – proporcional al número de entidades existentes en simultaneo-, se opta por modelar las cantidades, pesos y/o volúmenes inventariados mediante la variación de atributos de un conjunto relativamente pequeño de entidades. En el caso de materias primas, se tendrá un atributo que representa el número de lotes de producción que cada entidad es capaz de abastecer. Esto, considerando que, según la familia de productos a la que corresponda, podrá necesitarse de una o más materias primas distintas para fabricar un lote.

Dado que el modelo comienza con la totalidad de almacenes de materia prima e insumos vacíos, se definen criterios para la fijación de un tiempo de precalentamiento, que una vez finalizado habilita la emisión de ordenes de producción, cuyo proceso consecuente es el de mezclado. Los criterios establecidos son dos, y se describen a continuación. El primero consta en alcanzar un stock de materias primas destinadas a la elaboración de infusiones medicinales equivalente a, por lo menos, 3 meses de producción. El segundo implica lograr que, al menos, la mitad del volumen total destinado al acopio de materias primas este completo. Apunta a generar inventario suficiente del resto de recursos necesarios para elaborar otras familias de producto.

La validación estadística del periodo de precalentamiento se lleva a cabo mediante la simulación de 30 réplicas de longitud constante igual a 3,33 horas en donde no se genera ninguna orden de producción. En cada una, se toma un registro semanal del stock total de materias primas medicinales, y del volumen utilizado para el almacenaje de materias primas. Se establecen los respectivos intervalos de confianza para cada semana, con una confiabilidad del 95%, y una cota de error equivalente a media desviación estándar. En el caso del modelado del sistema actual, los valores mínimos a alcanzar son 31.2 lotes y 10.100 unidades de almacenamiento. De esta manera el periodo de precalentamiento se fija en 98 días, comenzando al día siguiente la emisión de ordenes de producción. La misma metodología es utilizada para las dos alternativas simuladas, obteniendo igual periodo de precalentamiento.

Luego de establecido el tiempo de precalentamiento, se validan los modelos mediante la estimación de la tasa de planta objetivo – actual, o proyectada, según corresponda -. La misma se calcula en base a la demanda relevada de cada familia de producto, y se mide en cantidad de lotes producidos mensualmente. Así, el valor objetivo se compara con la obtenida en los modelos construidos. Para ello, se establece como criterio de finalización para cada réplica el alcance del volumen de producción equivalente a cuatro meses, para cada familia de producto. Dicho volumen se contabiliza en cantidad de paquetes de producto terminado, y sus valores estimados se vuelcan en la Tabla 1.

Tabla 1: Producción objetivo por familia de producto para la finalización de cada réplica.

Familia de producto	Producción objetivo actual [paquetes]	Producción objetivo proyectada [paquetes]
Medicinales	20,400	26,200
Monohierba	40,000	52,400
Multihierba	126,400	164,000
Potes	15,600	31,160
Frascos	9,600	19,120
Blísteres	80,000	160,000

Por otro lado, cabe destacar que, debido a la naturaleza volumétrica de las etapas de fraccionado, se contempla un intervalo de variación para la tasa de planta de referencia. En él, existe un valor mínimo y máximo para la tasa de cada familia de producto, que representa la cantidad equivalente de unidades finales que pueden obtenerse de un lote de producto. Estos intervalos de referencia para las tasas de planta de cada familia de producto, y en cada escenario, se plasman en la Tabla 2.

Tabla 2: Intervalos para las tasas de planta de cada familia de producto.

Familia de producto	Intervalo de tasa de planta - objetivo actual [h/lote]	Intervalo de tasa de planta - objetivo proyectado [h/lote]
Medicinales	[16.47; 16.92]	[25.32; 26.03]
Monohierba	[11.35; 11.91]	[17.45; 18.32]
Multihierba	[2.63; 2.70]	[4.04; 4.15]
Potes	[3.71; 3.85]	[3.71; 3.85]
Frascos	[37.11; 41.91]	[37.07; 41.86]
Blísteres	[4.43; 5.00]	[4.43; 5.00]

3.6 Simulación de la distribución en planta actual

La simulación de la situación actual inicia con la ejecución de 10 réplicas. Se toma un error admisible equivalente al cinco por ciento del número de lotes requeridos para cumplir con la tasa de referencia, y se utilizan los resultados obtenidos para calcular el total de réplicas necesario. De esta forma, con una confiabilidad del 95%, se alcanza el error propuesto mediante la simulación de 35 réplicas. Los resultados de la validación se plasman en la Tabla 3.

Tabla 3: Resultados validación de la simulación de la distribución en planta actual.

Familia	Producción media [lotes/ semana]	Error admisible [lotes/ semana]	Intervalo de confianza [h/lote]	R medio [h/lote]	Intervalo objetivo
Medicinales	2.33	0.120	0.816	17.15	[16.47; 16.92]
Monohierba	3.50	0.172	0.398	11.43	[11.35; 11.91]
Multihierba	14.85	0.751	0.050	2.69	[2.63; 2.70]
Potes	10.40	0.529	0.170	3.85	[3.71; 3.85]
Frascos	1.02	0.051	3.204	39.15	[37.11; 41.91]
Blísteres	7.90	0.424	0.077	5.06	[4.43; 5.00]

Dado que, para cada una de las familias de producto, la unión de los intervalos simulados y de referencia forman un conjunto no vacío, el modelo se considera validado estadísticamente y se procede a la detección de oportunidades de mejora.

En la Figura 3 se plasma el modelo tridimensional resultante para la distribución actual en Flexim®, que permite representar las estaciones productivas y los flujos de producción existentes.

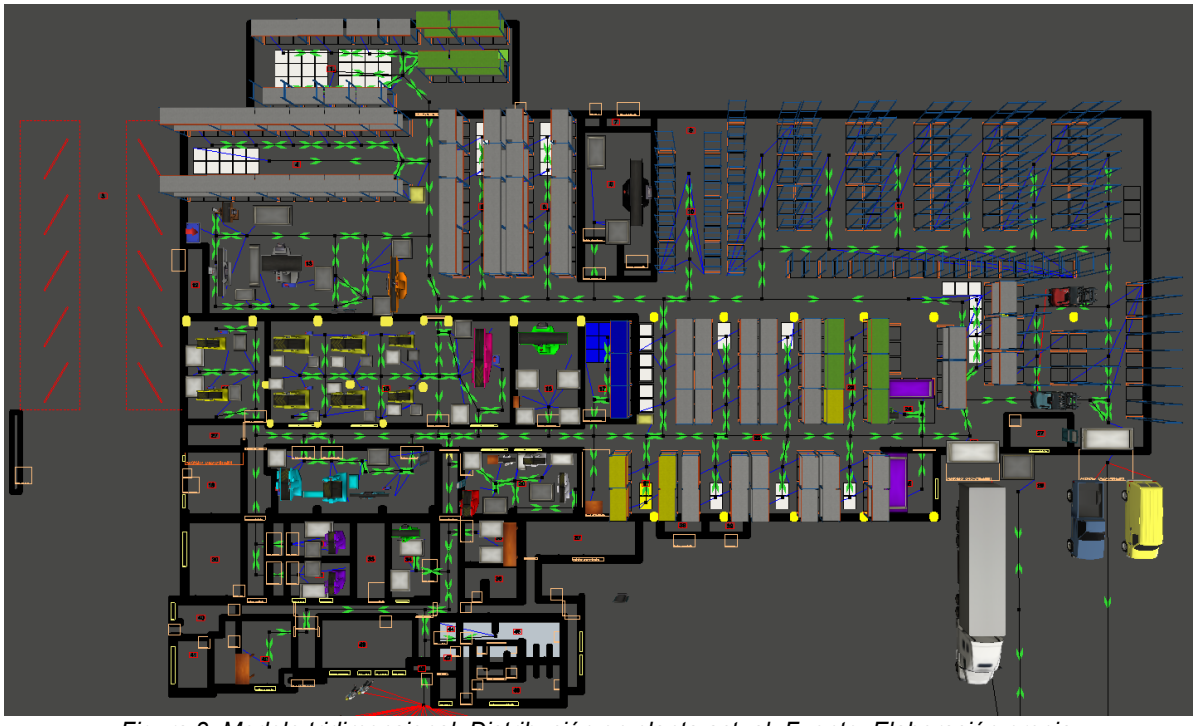


Figura 3: Modelo tridimensional. Distribución en planta actual. Fuente: Elaboración propia.

A los efectos de la comparación con futuras propuestas, en la Tabla 4 se presentan los restantes resultados de los indicadores la distribución actual.

Tabla 4: Resultados de los indicadores de la distribución actual.

Indicadores	Medicinales	Monohierba	Multihierba	Potes	Frascos	Blísteres
Tasa de planta [h/lote]	17.15	11.43	2.69	3.85	39.15	5.06
Utilización prom. de las estaciones [%]	58.85					
Distancia de lote [m/lote]	584.40	270.80	499.50	342.50	456.70	468.30
Peso por Distancia Unitario	139.20	86.50	132.60	463.30	97.40	59.70
Cantidad de Retrocesos	12	8	12	8	11	11
Densidad de Almac. [m^2/N° ub.]	2,96					
Colchón de capacidad relativo [%]	20.35	5.90	20.35	23.00	1.30	1.30

3.7 Análisis y oportunidades de mejora

A continuación, se describen las principales problemáticas observadas luego del análisis estadístico y visual del sistema modelado.

En términos del flujo de la planta, y dado que existe un sector de ingreso y egreso conjunto, se observan dificultades para alcanzar una circulación en forma de U del material a lo largo de su fabricación. En consecuencia, se generan retrocesos en múltiples etapas de la elaboración, siendo las más significativas en las etapas de mezclado, encapsulado, recolección de materia prima e insumos y fraccionado de infusiones. Una deficiencia detectada en la distribución actual es la dificultad de asignar ubicaciones de estantería según la familia de productos. En el caso de las materias primas este arreglo presenta la dificultad de que suele utilizarse, para productos de varias familias, la misma materia prima. Sin embargo, esto es mucho menos frecuente en los insumos de uso general y los utilizado para el embalaje. Los insumos restantes son asignables a una familia especifica, con lo cual podrían asignarse estanterías específicas que integren su localización con el flujo de fabricación, y aprovechen la flexibilidad dimensional aportada por el diseño de las estanterías.

En lo que respecta a la brecha de capacidad instalada y de cara al aumento proyectado se identifican, cinco estaciones productivas cuya capacidad máxima se vería sobrepasada. Para el diseño de las propuestas, se proyecta la adquisición de maquinarias en función de dos factores: obtener un colchón de capacidad mínimo del 20%, y considerar la estrategia intermedia en términos de expansión de capacidad vía adquisición de maquinaria, que adopta la empresa históricamente. Se proyecta la construcción de una nueva sala de encapsulado, que implica adquirir una maquina encapsuladora y una detectora de metales adicional. Se plantea la creación de una línea de fraccionado y envasado de frascos independiente que requiere la adquisición de un nuevo equipo de etiquetado y otro de sellado.

En lo que respecta a sectores auxiliares, y de cara a las proyecciones de crecimiento estimadas, se detecta como oportunidad de mejora la ampliación de los sectores destinados a oficinas de mandos medios de la planta baja. Allí, actualmente convive, en una superficie de 21 m²: personal de mantenimiento, aseguramiento de calidad, y jefatura de producción. Algo similar ocurre con el sector designado para acopio de herramientas e insumos de mantenimiento, que cuenta únicamente con 15 m² de superficie, es único en toda la planta, y por normativas debe estar excluido de sectores productivos.

4. RESULTADOS

4.1 Propuestas de mejora

En función de las oportunidades de mejora detectadas se proponen dos alternativas de distribución en planta que se describen a continuación:

- Propuesta 1: Esta alternativa busca mitigar las deficiencias detectadas mediante un arreglo lineal, siguiendo las secuencias de procesado del material, del mayor número de estaciones posibles. Una de las consecuencias de este diseño es la necesidad de dividir los sectores de recepción y expedición. Para ello, se hace uso de la entrada secundaria a planta que implica son una expansión del actual deposito y un aumento de 1.3 metros en la altura útil del sector. Por otro lado, se hace uso del terreno lindero, recientemente adjudicado, para expandir la nave, tanto en sentido longitudinal, como horizontal. De esta forma, en el extremo sur de la misma se sitúa el sector de recepción y el depósito de materias primas; seguido de la estación de molienda, y ambas estaciones de mezclado. Aquí, se presta especial atención a la cercanía entre el depósito de materias primas medicinales y la recepción, ya que la expedición de estas hacia el proceso de irradiación se realizará por allí. Adicionalmente, se procura situar la estación de molienda lindera al exterior para facilitar la instalación de equipos de extracción en la misma, y se mantiene en su diseño la disposición de un gabinete de máquinas independiente. Con respecto a las estaciones de mezclado, se aloja la de mayor capacidad de carga más cercana, tanto a los almacenes de materia prima, como de producto en proceso, para minimizar el recorrido en lotes de producción más voluminosos. La distribución continua hacia el norte, donde se ubican los depósitos de producto en proceso e insumos. A partir de allí, la distribución se divide en tres grandes alas. El ala oeste se aloja la mayoría de las ubicaciones destinadas al acopio de insumos, seguido de tres estaciones de encapsulado, y finalizando con la línea de producción de blísteres, que conserva su ubicación actual. Luego, el ala central posiciona la línea de elaboración de potes y la estación de fraccionado de infusiones Monohierba. Ambos sectores tienen la característica de concentrar gran cantidad de eslabones de la cadena de suministro. Seguido a estas, se dispondrán ubicaciones para el acopio de insumos particulares de la familia de blísteres, e insumos generales, como cajas para infusiones, y plásticos termo contraíbles para embalaje. En su segunda mitad, se dispone la sala de almacenamiento de capsulas rígidas, y un depósito de producto en proceso destinado exclusivamente a las familias de blísteres y frascos. Por último, se crea una nueva sala de producción para albergar la línea de producción de suplementos en frascos, seguida de una circulación; y finalizando con la disposición de las seis estaciones de fraccionado de infusiones. Por último, en el ala este, se despliega la totalidad del depósito de productos terminados, en los cuales se contemplan dos circulaciones en sentido longitudinal, que buscan independizar los traslados de lotes desde cada estación hacia el depósito; de los realizados en procesos de armado de pedidos y expedición.

Propuesta 2: Esta alternativa apuesta a mejorar la integración de los flujos de producción manteniendo la circulación en forma de U de la distribución actual. Por un lado, los sectores de recepción y expedición permanecen unificados, y en cercanía de los depósitos. Con respecto a las áreas productivas, y de manera similar que la propuesta anterior, se reorganizan buscando que la circulación del material acompañe la secuencia lógica de la cadena de suministro. Al igual que la propuesta anterior, se hace uso del terreno lindero para la expansión de las instalaciones en ambos sentidos. Los sectores de recepción y expedición se ubican juntos en el extremo sur de la planta, y las estaciones de proceso y

depósitos van surgiendo en la medida que se recorre la distribución hacia el norte. Las estaciones de molienda y mezclado se ubican cercanas a los depósitos de materias primas y productos semielaborados. Seguido a ellas comienza a desarrollarse en depósito de insumos, que cuenta con ala oeste de ubicaciones, destinadas al abastecimiento de las líneas de infusiones, frascos, y blísteres; y un ala este, más pequeña, donde se mantienen los insumos de uso general y los utilizados en la elaboración de potes. En el extremo norte de la circulación, se posicionan las principales estaciones productivas. Tanto la línea de elaboración de blísteres, como la fraccionadora conservan su ubicación actual. Por otro lado, las tres salas de encapsulado, los depósitos de capsulas se reorganizan de la misma forma que en la propuesta 1. Se dispone un pasillo adicional entre las fraccionadoras con el objeto de mejorar la circulación de material hacia el sector de envasado y el depósito de producto terminado. También, se configuran, a continuación del depósito de insumos, dos salas de producción que albergan las líneas de producción de potes y frascos. El ingreso al depósito de producto terminado de todas las familias se realiza por una circulación única que recorre longitudinalmente toda la planta, de norte a sur, y finaliza con el sector de paletizado. Las distintas estanterías del depósito se disponen en forma perpendicular a este a lo largo de diez pasillos. Por último, existe una circulación inferior adicional, de menor extensión, que conecta seis de estos pasillos con el sector de expedición.

4.2 Simulación de escenarios

Se plantean dos escenarios de simulación, cada uno correspondiente a las propuestas de distribución en planta detalladas en el apartado anterior.

Ambos modelos consideran una la jornada laboral con dos turnos de trabajo para la totalidad de la planta. Esta medida se relaciona con la estrategia de expansión conservadora que adopta la empresa, en donde la disponibilidad flexible de recursos humanos es el factor principal para aumentar potencialmente la tasa de producción, seguido de la adquisición de bienes de capital. Dado el aumento proyectado de la demanda para cada familia de producto, la proporción de lotes que se fabrican en cada estación se establece igual que la distribución actual.

De la misma manera que se procede para la distribución actual, se modelan y validan los escenarios de simulación de ambas propuestas y los resultados obtenidos se presentan en las Tablas 5 y 6.

Tabla 4: Resultados de los indicadores de la Propuesta 1.

Indicadores	Medicinales	Monohierba	Multihierba	Potes	Frascos	Blísteres
Tasa de planta [h/lote]	17.15	11.43	2.69	3.85	39.15	5.06
Utilización prom. de las estaciones [%]	49.25					
Distancia de lote [m/lote]	593.7	281.0	547.2	258.7	373.3	422.6
Peso por Distancia Unitario	147.5	77.5	147.5	283.9	61.5	41.7
Cantidad de Retrocesos	8	6	9	6	6	8
Densidad de Almac. [m^2/N° ub.]	2.40					
Colchón de capacidad relativo [%]	39.50	45.75	39.50	44.95	19.75	15.20

Tabla 4: Resultados de los indicadores de la Propuesta 2.

Indicadores	Medicinales	Monohierba	Multihierba	Potes	Frascos	Blísteres
Tasa de planta [h/lote]	25.26	17.16	4.11	3.74	35.89	4.71
Utilización prom. de las estaciones [%]	48.11					
Distancia de lote [m/lote]	857.0	429.1	760.0	405.0	490.6	503.8
Peso por Distancia Unitario	209.6	142.8	225.0	481.7	97.8	57.2
Cantidad de Retrocesos	5	4	5	5	4	5
Densidad de Almac. [m^2/N° ub.]	2.46					
Colchón de capacidad relativo [%]	39.20	44.65	39.20	48.25	21.20	16.80

Los resultados evidencian mejoras de entre 5% y el 183% en los principales indicadores de desempeño para la Propuesta 1 (Tabla 5). Entre los principales factores que contribuyen a estas mejoras se destaca fundamentalmente la disposición lineal de los flujos de material que se adoptó en la Propuesta N°1. Esta configuración hace uso de ambos extremos de las instalaciones y permite minimizar la distancia promedio recorrida por cada lote en un 5,56%, aun dada la expansión superficial de la planta. Adicionalmente, la división de la distribución en tres alas longitudinales optimiza la circulación entre los distintos depósitos y las salas de producción. Por un lado, el arreglo lineal propuesto para cada familia de productos contribuye a disminuir los retrocesos y lograr una circulación más eficiente, obteniendo una mejora promedio del 30,65% en su indicador asociado. En paralelo, la distribución de depósitos y salas de producción considera, tanto las distancias absolutas entre ellos, como el peso asociado a la elaboración de un lote de cada familia de producto. El resultado es un arreglo que prioriza acortar distancias para recorridos de productos más pesados, y así reducir en un 22,29% el esfuerzo empleado

en el manejo de materiales. Por otra parte, la propuesta aprovecha las dos circulaciones principales y respeta el arreglo lineal de la distribución a la hora de distribuir las estanterías de los depósitos. En consecuencia, se evidencia una mejora del 18,82% en el aprovechamiento volumétrico. Las mejoras resultantes en materia de capacidad se atribuyen principalmente a la implementación de un cronograma de producción de dos turnos, y la incorporación de una tercera estación de encapsulado, que traslada el cuello de botella hacia la línea de elaboración de blísteres y amplia el colchón de capacidad para la elaboración de suplementos en cápsulas. Como resultado se obtiene una mejora del 183,45% del colchón de capacidad, una disminución del 16,31% de la utilización de los equipos y un aumento de la tasa de planta del 14,58%.

Analizando los resultados de la Propuesta 2 (Tabla 5), se evidencian mejora en algunos de los principales indicadores con valores superiores a la Propuesta 1 y en otros, no ha logrado superar el desempeño de la distribución actual. Esta propuesta mantiene la disposición en U de los flujos de material, aumentando la distancia promedio recorrida por cada lote un 31,4% y el esfuerzo empleado en el manejo de materiales en un 24,05%, debido a la expansión superficial de la planta. Por otra parte, la propuesta ha logrado una mejora del 16,89% en el aprovechamiento volumétrico y una disminución sustancial los retrocesos, obteniendo una mejora promedio del 54,84% en su indicador asociado. Respecto a la capacidad, la propuesta obtiene una mejora del 183,45% del colchón de capacidad, una disminución del 18,25% de la utilización de los equipos y un aumento de la tasa de planta del 14,55%.

Tabla 5: Variación de los indicadores de las Propuesta respecto a la Distribución Actual.

Indicadores	Tasa de planta prom. [h/lote]	Utilización prom. de las estaciones [%]	Distancia de lote [m/lote]	Peso por Distancia Unitario porm.	Cantidad de Retrocesos	Densidad de Almac.prom. [m2/N° ub.]	Colchón de capacidad relativo prom. [%]
Propuesta 1	14,58%	-16,31%	-5,56%	-22,39%	-30,65%	-18,92%	183,45%
Propuesta 2	14,55%	-18,25%	31,40%	24,05%	-54,84%	-16,89%	189,89%

3. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se plantea el abordaje de las propuestas de rediseño de instalaciones de manufactura de una empresa de productos saludables, bajo un enfoque mixto que permite su evaluación cuantitativa y cualitativa, la detección de oportunidades de mejora y un análisis de alternativas para facilitar el proceso de toma de decisiones.

Con respecto a la etapa inicial de relevamiento y análisis de la distribución en planta actual, se destaca el proceso de estratificación y agrupamiento de información realizado. Allí, se utilizan conceptos fundamentales como la identificación de estructuras de proceso particulares, las distintas orientaciones de distribución en planta, y la identificación de pocos factores vitales mediante el principio de Pareto. Gracias a esto, se logra considerar en el estudio a 237 productos diferentes, sin incurrir en perdidas considerables de su información o costos computacionales elevados.

Esta primera etapa también constituye bases sólidas para las actividades de modelado y simulación que le siguieron. El diseño llevado a cabo en los mismos, y los indicadores extraídos brindan una visión global de las cadenas de suministro de cada familia de producto, y permitieron orientar las oportunidades de mejora planteadas hacia un mejor cumplimiento de los principios básicos que debe perseguir una distribución en planta.

Como último paso, se procede a realizar un análisis de los resultados de la simulación de las distribuciones propuestas. Cuando se evalúan sus desempeños con respecto a la distribución actual, se obtienen mejoras promedio a lo largo de la mayoría de los indicadores analizados. La contraparte de estos resultados es una cadena de suministro capaz de operar a tasas de producción entre mayores a las actuales; aprovechando aproximadamente entre un 16 y 18%% más su espacio cúbico y eliminando entre el 30 y 55% los retrocesos actuales. Por último, se destacan los aportes en materia de flexibilidad al sistema de operaciones, que surgen de las mejoras en los colchones de capacidad superiores al 180% y la disminución de entre 16 y18% la utilización de los equipos.

Para finalizar el proceso de decisión, se recomienda como trabajo futuro la implementación de un proceso de decisión multicriterio que permitirá evaluar de manera sistemática y consistente las alternativas propuestas y seleccionar la mejor en función de las prioridades de la organización y su cadena de suministro.

4. REFERENCIAS

Alberto, C., & Carignano, C. (2022). Apoyo cuantitativo a las decisiones. Editorial Económicas Facultad de Cs Económicas de la U.N.C.

Carson, B., & Nelson, N. (2014). Discrete-Event System Simulation. Harlow: Pearson

Dunna, E., Reyes, H., & Barrón, L. (2013). Simulación y análisis de sistemas con ProModel. 2da edición. México: Pearson.

Ijaz Yusuf, N. R. (2024). Simple to complex business models using system dynamics lens. Intellectualization of Logistics and Supply Chain Management, 24, 6-22.

Izquierdo, L., Galán, J., Santos, J., Del Olmo, R. (2008) Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de Sistemas EMPIRIA. Revista de Metodología de las Ciencias Sociales, 16, pp. 85-112.

Mortara, V.,Tabone, L., Zanfrillo, A., Morcela, A. (2021) Mejora del proceso de seguimiento de cobros y reclamos en una organización de salud mediante simulación dinámica. COINI 2020.

Valqui Vidal R. (2010) La investigación de operaciones: un campo multidisciplinario. Operational Research: En: Encuentro Científico Internacional. 1 ed. Lima (Perú): Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (CEPLA). Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2011-00021.

"UN ENFOQUE METAHEURÍSTICO PARA UN PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULOS CON MÉTRICA DE ATRACCIÓN VISUAL"

Fernan Rodríguez[1], Adrián Toncovich[1], Diego Rossit[1,2]

[1]Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur
[2]INMABB Universidad Nacional del Sur (UNS)-CONICET
feer.rr01@gmail.com, atoncovi@uns.edu.ar, diego.rossit@uns.edu.ar

RESUMEN

Los modelos de ruteo de vehículos son aplicados para resolver una gran cantidad de problemas logísticos y productivos de la industria. Por ende, tradicionalmente ha sido un problema de mucho interés para el desarrollo de herramientas de apoyo a la toma de decisiones. En general al resolver problemas de ruteo se persiguen objetivos relacionados con el costo o las distancias. Sin embargo, existe un desarrollo menor de modelos que optimicen objetivos no tradicionales como la compacidad de las rutas. En este trabajo se propone un primer algoritmo bi-objetivo para optimizar simultáneamente la minimización de los tiempos de viaje y la compacidad de las rutas. Dada la naturaleza computacionalmente compleja de los problemas de ruteo de vehículos, este algoritmo se basa en una herramienta metaheurística, particularmente el recocido simulado. En experimentos iniciales el algoritmo fue capaz de hallar un conjunto de soluciones eficientes que exploran la relación de compromiso entre ambos objetivos contrapuestos en tiempos razonables.

Palabras Claves: Problemas de ruteo de vehículos; Compacidad; Optimización bi-objetivo; Recocido Simulado

ABSTRACT

Vehicle routing models are applied to solve a large number of logistical and productive problems in the industry. Therefore, it has traditionally been a problem of great interest for the development of decision-making support tools. In general, when solving routing problems, objectives related to cost or distance are pursued. However, there is less development of models that optimize non-traditional objectives such as route compactness. In this work, a first bi-objective algorithm is proposed to simultaneously optimize the minimization of travel times and the compactness of the routes. Given the computationally complex nature of vehicle routing problems, this algorithm is based on a metaheuristic tool particularly simulated annealing. In initial experiments the algorithm was able to find a set of efficient solutions that explore the trade-off relationship between both opposing objectives in reasonable times.

Keywords: Vehicle routing problems; Compactness; Bi-objective optimization; Simulated Annealing.

1. INTRODUCCIÓN

En la gestión de la cadena de suministro, una parte importante del proceso de toma de decisiones involucra la planificación de la logística del transporte. En la literatura relacionada, este tipo de planificaciones se modela a través de lo que se conoce como un problema de ruteo de vehículos o Vehicle Routing Problem (VRP), un problema de optimización combinatoria que concierne al diseño de los recorridos óptimos de una flota de vehículos para servir a un conjunto de clientes (Toth y Vigo, 2014). Desde su primera aplicación en un problema de distribución de combustible en los EEUU (Dantzig y Ramser, 1959), los problemas de ruteo han sido adaptados y extendidos para su utilización en diversas aplicaciones (Toth y Vigo, 2014; Vidal et al., 2020). Muchas de estas aplicaciones se relacionan con la gestión de servicios urbanos entre los que podemos encontrar algunos vinculados a sistemas tradicionales, como lo pueden ser la recolección de residuos sólidos urbanos (Fermani et al., 2019; Nesmachnow et al., 2018; Rossit et al., 2021) y la determinación de los recorridos de líneas de ómnibus urbanas (Ellegood et al., 2020), como también otros vinculados con la utilización de tecnologías modernas en el contexto de las ciudades inteligentes, como puede ser la gestión del tráfico en tiempo real (Lakshmanaprabu et al., 2019) y el uso de vehículos eléctricos o bicicletas compartidas (Li et al., 2020; Shi et al., 2019). Al momento de modelar un problema VRP se pueden perseguir distintos objetivos y considerar distintas restricciones dependiendo del caso de aplicación (Arnold y Sörensen, 2019). Esto ha llevado a que exista una gran cantidad de variantes de este problema. Por ejemplo, pueden citarse el problema de ruteo con restricciones de capacidad o Capacitated VRP (CVRP), el problema con restricciones de distancias o Distance-Constrained VRP, el problema VRP con ventanas de tiempo (VRPTW), el VRP con Pickup y Delivery (PDP) y el VRP periódico (PVRP), entre otros. Estos problemas están basados, en general, en una demanda de los clientes conocida, sin embargo, también pueden incorporar demandas de naturaleza estocástica. También existen ciertos problemas dinámicos, donde la demanda de los clientes se va revelando una vez que el vehículo ha comenzado su recorrido, debiendo realizar rediseños de la ruta al vuelo. En general, los criterios convencionales o tradicionales que se intentan optimizar en los problemas de ruteo tratan sobre aspectos objetivos (y cuantitativos) como minimizar los costos de transporte, las distancias o los tiempos de viaje, el número de vehículos requeridos o las penalizaciones por violación de restricciones que se asumen como “débiles”, tales como las ventanas de tiempo. Otro objetivo que puede considerarse es la llamada “atracción visual” de las rutas. Esta característica, que inicialmente estaba relacionada, principalmente, con el grado de aceptación que tienen las soluciones producidas por los algoritmos VRP por parte del administrador o planificador de las rutas (Poot et al., 2002), ha demostrado también tener varias ventajas al momento de la implementación de las planificaciones de ruteo y en la disminución de costos operativos (Corberán et al., 2017; Hollis y Green, 2012). Por esta razón, es un objetivo que se incorpora frecuentemente en las aplicaciones prácticas del VRP. Si bien no resulta fácil elaborar una definición precisa de la atracción visual debido a su carácter relativamente subjetivo (Constantino et al., 2015), diversos autores relacionan este concepto subjetivo con algunas características que deben exhibir las rutas de un plan: en general las rutas visualmente atractivas son compactas -se sitúan en una región geográfica acotada y su envolvente convexa presenta una forma aproximadamente circular-, se encuentran separadas entre sí -evitando solapamientos entre distintas rutas- y no poseen entrecruzamientos en sus trazados -evitando cruces de trayectos dentro de una misma ruta- (Rossit et al., 2019). Este carácter multidimensional en su definición también se ha traducido en una gran cantidad de métricas que se han elaborado para medir la atracción visual en problemas de ruteo, existiendo en la actualidad una gran dispersión de indicadores. En un intento por comparar los diversos indicadores elaborados y encontrar qué grado de asociación existe entre ellos, en Rossit et al. (2019) se analizó el grado de correlación lineal entre las diversas métricas a través de su aplicación a conocidos benchmarks de la literatura.

Atendiendo a la escasez de trabajos que consideran objetivos relacionados a la atracción visual en problemas de ruteo de vehículos, este trabajo se propone desarrollar un algoritmo biobjetivo para optimizar tanto el tiempo de viaje como la compacidad de las rutas. Considerando que los problemas de ruteo de vehículos son conocidos problemas NP-hard, se utilizará un algoritmo metaheurístico como lo es el recocido simulado.

El presente trabajo se encuentra organizado de la siguiente manera. En la Sección 2 se describe el algoritmo de recocido simulado propuesto para resolver el problema. Los resultados y análisis preliminares se exponen en la Sección 3. Finalmente, en la Sección 4 se presentan las conclusiones del trabajo y las futuras líneas de investigación.

2. ALGORITMO BIOBJETIVO BASADO EN EL RECOCIDO SIMULADO

En teoría de complejidad computacional, el tipo de problemas combinatorios estudiados está clasificado como NP-hard (Toth y Vigo, 2014), es decir, resulta a lo sumo tan difícil como los problemas para los cuales no se han desarrollado aún algoritmos de resolución eficientes que se ejecutan en tiempo polinomial con respecto al tamaño del problema. En este tipo de problemas las herramientas metaheurísticas permiten obtener buenas soluciones en tiempos de cómputo razonables. El algoritmo de resolución que se propone se basa en una estrategia de recocido simulado (SA, Simulated Annealing en inglés) y fue adaptada de los trabajos (Fermani et al., 2019; Rossit et al., 2021). SA es un método basado en la búsqueda local que se desarrolló a partir de una analogía con el fenómeno físico de recocido (Rossit et al., 2021) para resolver problemas complejos de optimización. Los métodos de búsqueda local buscan la solución con un mejor valor del criterio elegido en el entorno de la solución actual, la aceptan como la solución actual y repiten este procedimiento hasta que no resulte posible mejorar la solución en el entorno explorado. Como resultado de la aplicación sistemática de este procedimiento se obtiene, en el caso general, un óptimo local para el problema. Para evitar quedar atrapado en un óptimo local, se debe incluir un mecanismo de diversificación con el fin de explorar adecuadamente el espacio de soluciones. En la metaheurística del recocido simulado, la estrategia de diversificación admite desplazamientos, con cierta probabilidad, hacia soluciones que empeoran el valor actual de la función objetivo. Para obtener una buena aproximación a la solución óptima del problema durante el proceso de búsqueda, resulta necesario reiniciar la búsqueda regularmente desde una de las soluciones aceptadas durante el proceso de búsqueda. A continuación, se describe el algoritmo basado en el recocido simulado al que se recurre para resolver el problema.

El algoritmo SA desarrollado incorpora los parámetros característicos del recocido simulado que seguidamente se detallan:

- T: Parámetro de control (temperatura), valor real positivo que varía de un valor inicial, T_0, mayor a otro final, T_f, menor durante la ejecución del algoritmo.
- N_{salt}: Número de iteraciones realizadas por el algoritmo para un cierto valor de T.
- α: Función en T, $\alpha = \alpha(T)$, que determina la variación de T. En general: $\alpha\,(T) = \alpha\,T$, en la práctica se adopta: $\alpha \in [0{,}8;\ 0{,}99]$.
- N_{fin}: Máximo número de iteraciones sin mejora.

El procedimiento implementado posee las características de un procedimiento de recocido simulado con archivo de soluciones de Pareto, PASA, Pareto Archived Simulated Annealing (Engrand y Mournay, 1998), que, a su vez, incluye elementos propios de un algoritmo de recocido simulado multiobjetivo, MOSA, MultiObjective Simulated Annealing (Ulugu, Teghem, Fortemps y Tuytttens, 1999).

El método PASA, propuesto por Engrand y Mournay (1998) recurre a una función de agregación de las funciones objetivo, junto con un sistema de archivo/registro de soluciones no dominadas. Asumiendo que las funciones objetivo que deben minimizarse, $f_p\,, p = 1, 2, \dots, P$, son todas positivas, el problema puede transformarse en un problema de minimización monobjetivo mediante la siguiente función de agregación: $G(S) = \sum_{p=1}^{P} ln(f_p(S))$. En consecuencia, la Ecuación (1) representa la variación relativa media de las funciones objetivo entre la solución actual y la solución candidata.

$$\Delta G = G(S_c) - G(S_a) = \sum_{p=1}^{P} ln\left(\frac{f_p(S_c)}{f_p(S_a)}\right) \qquad (1)$$

Si $\Delta G > 0$, S_c se deteriora el valor medio relativo del conjunto de funciones objetivo. Si $\Delta G < 0$, S_c se produce una mejora en el valor medio relativo del conjunto de funciones objetivo. En el primer caso la solución S_c se acepta con una probabilidad dada por $PA = e^{-\Delta G/T}$, donde el parámetro T funciona como un mecanismo de control que simula el papel de la temperatura en el proceso físico del recocido. El algoritmo mantiene un registro de soluciones no dominadas que se va actualizando conforme al siguiente esquema:

- Si S_c está dominada por al menos una de las soluciones del archivo, no se agrega al conjunto.
- Si S_c domina a una o más soluciones del archivo, S_c se agrega reemplazando a las soluciones dominadas por ella.
- Si S_c no domina, ni está dominada por las soluciones del archivo, S_c se agrega sin reemplazar soluciones.

La aplicación repetida del siguiente procedimiento permite generar un conjunto de soluciones potencialmente no dominadas para el problema.

i. Inicio

- Se aplica un procedimiento constructivo para generar una solución inicial, S_0.
- Se evalúa $f_p(S_0), \forall\, p$.
- Se incorpora S_0 al conjunto de soluciones eficientes: $CE = \{S_0\}, Ncont = t = 0, T = T_0$.

ii. Iteración t

- Se genera una solución candidata de forma aleatoria en el entorno de S_a, $S_c \in V(S_a)$.
- Se evalúa $f_p(S_c), \forall\, p$.
- Se calcula ΔG aplicando la Ecuación (1).
- Si $\Delta G \leq 0$, se acepta la nueva solución: $S_a \leftarrow S_c$, $N_{cont} = 0$.
- En otro caso, se acepta S_c con una probabilidad $PA = e^{-\Delta G/T}$. Se genera un número aleatorio uniformemente distribuido en el intervalo [0;1]:

$$S_a \begin{cases} \leftarrow S_c, N_{cont} = 0. si\ \varepsilon \leq PA, \\ \leftarrow S_a, N_{cont} = N_{cont} + 1, si\ \varepsilon > PA. \end{cases}$$

- Si corresponde, se actualiza CE teniendo en cuenta a S_c aplicando el esquema de dominancia previamente descripto.
- $t \leftarrow t + 1$: Si t es múltiplo de N_{salt}, $T = \alpha\, T$, en caso contrario se mantiene el valor de T. Si $N_{cont} = N_{fin}$ o $T < T_f$, se detiene la ejecución, en caso contrario se continúa iterando.
- Se reporta el conjunto de soluciones eficientes CE encontrado durante el proceso de búsqueda.

Los objetivos que se persiguen son los siguientes:

$$\sum_{h\ en\ rutas} \quad \sum_{i,j\ en\ ruta\ h, i \neq j} \quad t_{ij}\ x_{ij}^h \tag{2}$$

$$\sum_{h\ en\ rutas} \quad \sum_{i,j\ en\ ruta\ h, i \neq j} \quad dist_{ij}\ y_i^h\ y_j^h \tag{3}$$

donde la Ecuación (2) representa la suma de los tiempos de viaje (t_{ij}) de los arcos que se recorren (x_{ij}^h). La Ecuación (3) es la sumatoria de distancias ($dist_{ij}$) entre todos los nodos que conforman la ruta (y_i^h). En Rossit y Toncovich (2023) puede consultarse la formulación de programación matemática detallada correspondiente al problema abordado.

La implementación fue desarrollada en Visual Basic e integrada con MS Excel lo cual permite una mayor accesibilidad para el usuario no experto con la idea que pueda ser implementado por profesionales del área, como puede visualizarse en las Figuras 1 (botones de control y ejecución del SA) y 2 (ingreso de parámetros del SA).

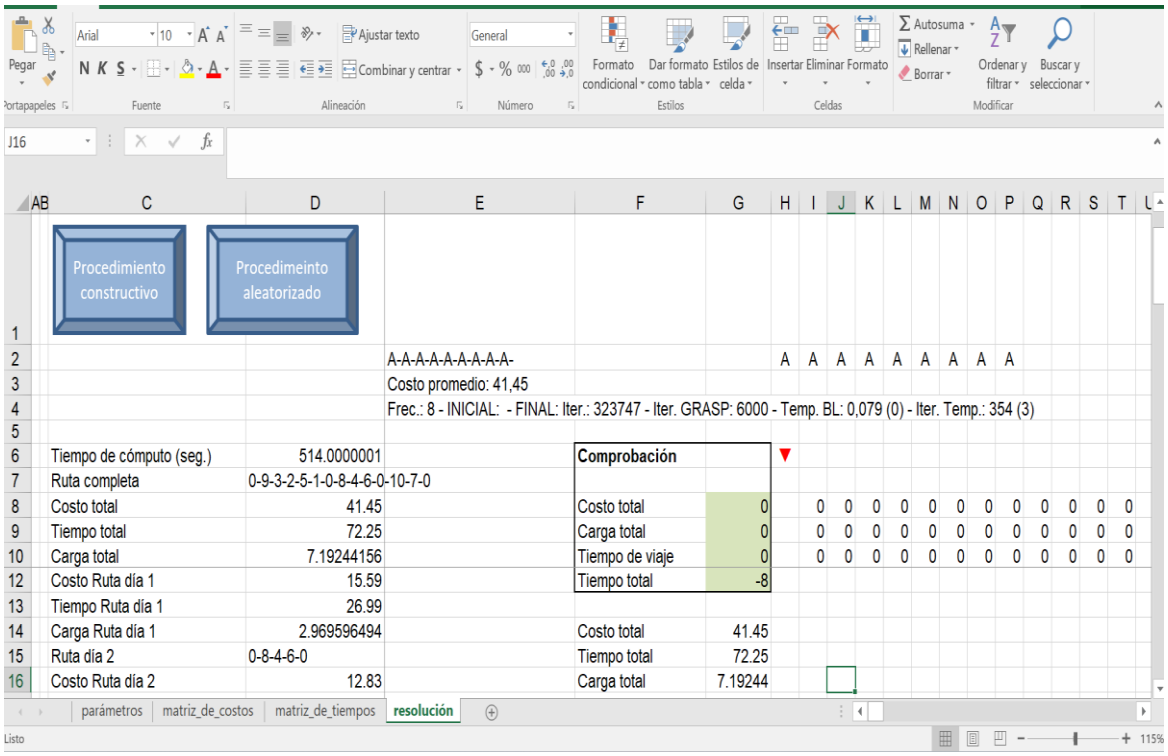


Figura 1 Botones de control y ejecución del algoritmo.

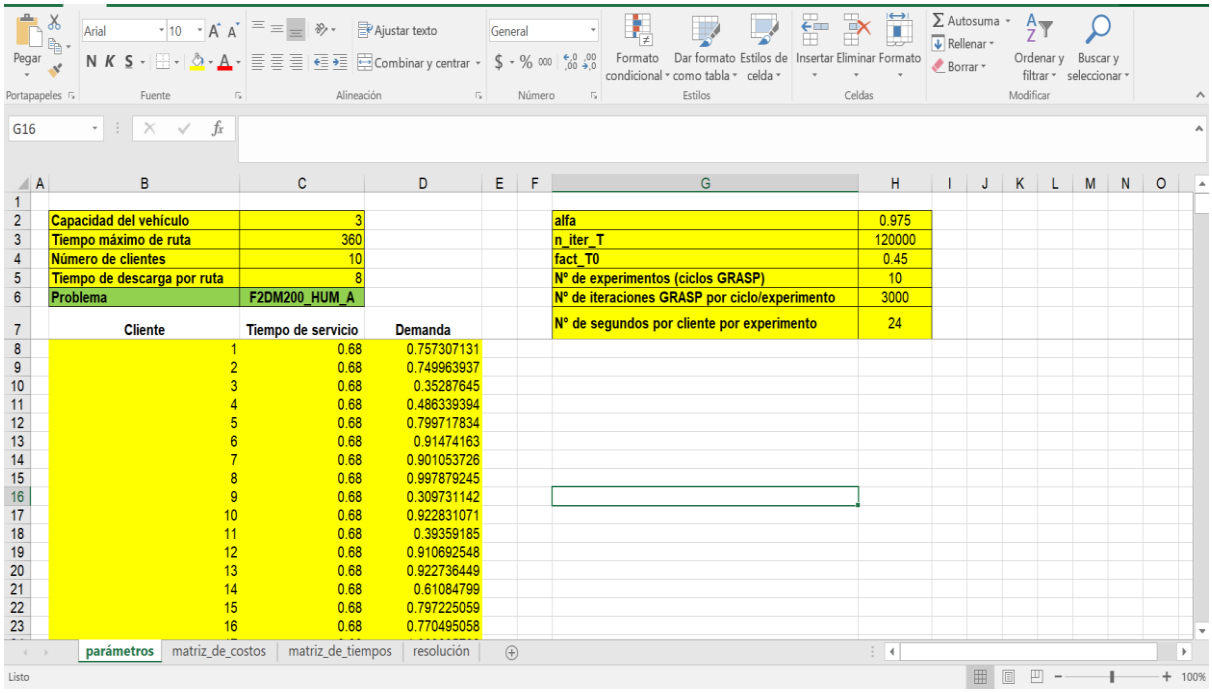


Figura 2 Ingreso de parámetros relacionados con el recocido simulado y el problema.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS PRELIMINARES

En este trabajo se presentan los resultados preliminares de la resolución de instancias basadas en el problema de la recolección de residuos sólidos urbanos con información de la ciudad de Bahía Blanca, a los efectos de explorar el desempeño del algoritmo y su capacidad de evaluar la relación de compromiso entre los objetivos. En las Figuras 3, 4 y 5 se presentan los frentes de Pareto representativos para instancias de 9, 10 y 20 nodos, respectivamente.

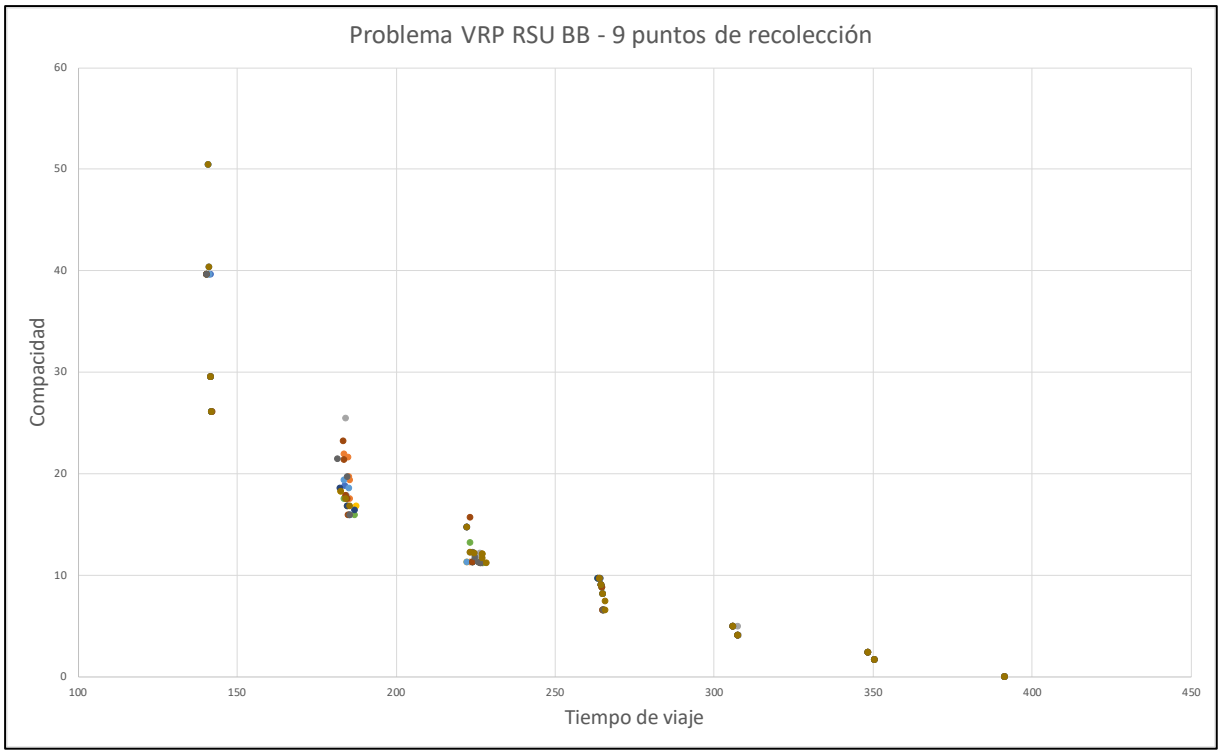


Figura 3 Frentes de Pareto para 9 nodos.

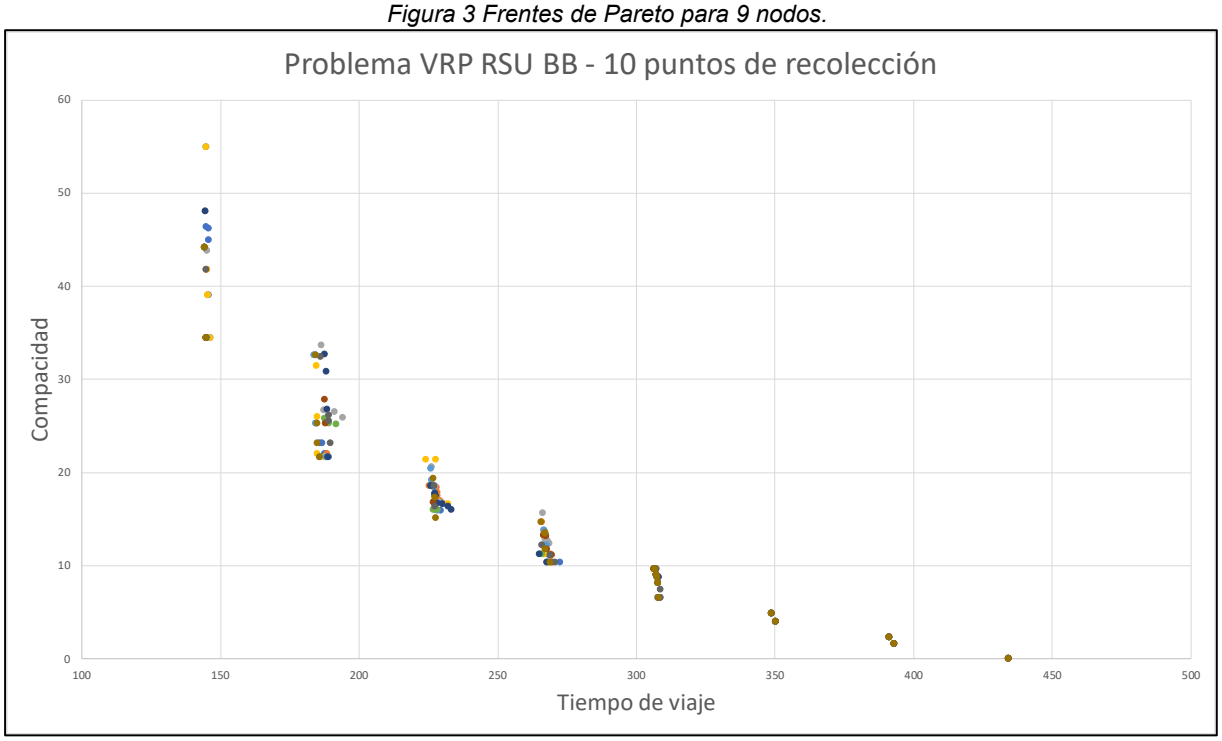


Figura 4 Frentes de Pareto para 10 nodos.

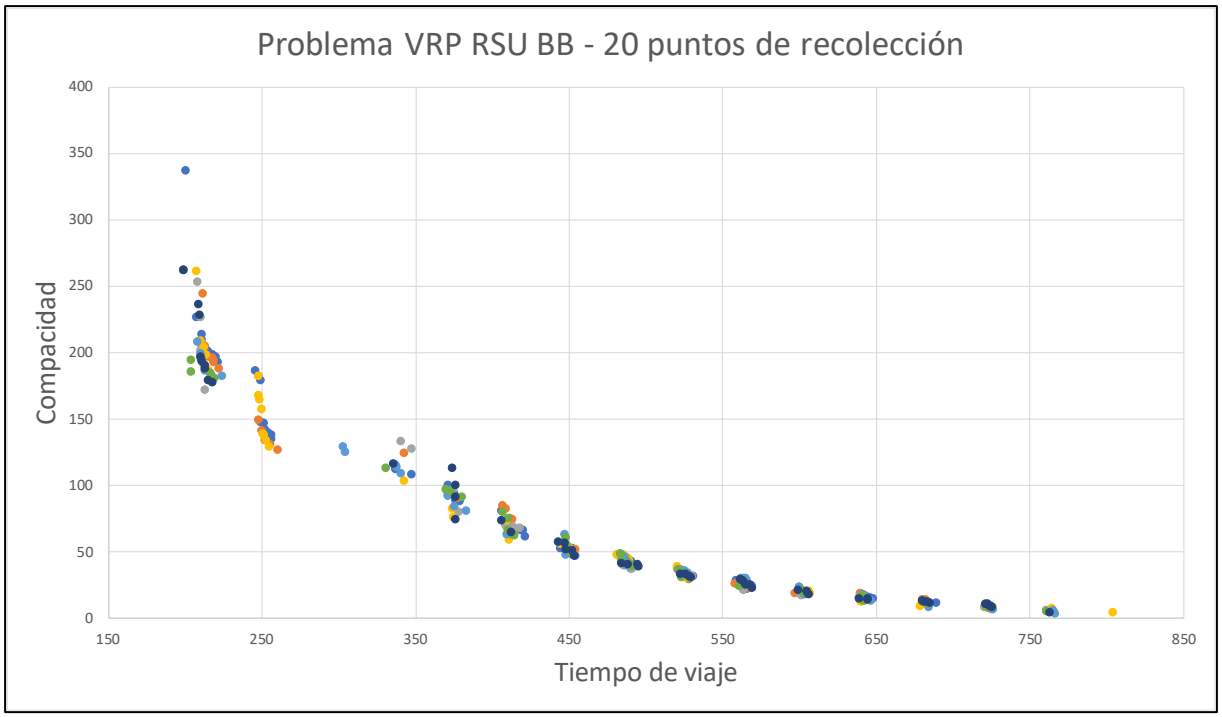


Figura 5 Frentes de Pareto para 20 nodos.

Al tratarse de un método de solución que incluye una componente aleatoria, las figuras muestran las fronteras generadas a partir de diez ejecuciones del algoritmo que aparecen representadas con colores distintos. Puede visualizarse que el algoritmo es capaz de explorar adecuadamente la relación de compromiso entre ambos objetivos y se tiene una adecuada distribución y cobertura a lo largo de las fronteras producidas, aunque se observa cierta dispersión de los resultados que puede indicar la necesidad de utilizar tiempos de cómputo mayores para conseguir fronteras más precisas.

3. CONCLUSIONES

Los problemas de ruteo de vehículos son problemas tradicionales de la investigación de operaciones que han sido ampliamente estudiados ya que se aplican en un gran número de problemas productivos y logísticos. Generalmente, los objetivos que se persiguen en estos problemas están asociados con los costos de transporte directos, como resulta ser la minimización de tiempos de viaje o distancia recorrida. Sin embargo, existen otros objetivos prácticos, tales como la compacidad, que se relacionan con ventajas operativas de los planes de distribución. Ambos tipos de objetivos, compacidad y aquellos vinculados al costo, suelen ser contrapuestos es decir que la mejora en un tipo de objetivo ocurre en desmedro del otro.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, en trabajo se desarrolló una metaheurística basada en recocido simulado para abordar problemas de ruteo de vehículos con límites de tiempo, optimizando simultáneamente los tiempos de viaje y la compacidad de las rutas. Dicha metaheurística fue programada utilizando Visual Basic en un entorno de MS Excel para facilitar el ingreso de datos y la visualización de las soluciones por parte de los usuarios no expertos en investigación de operaciones aprovechando la amplia difusión de este programa en profesionales y empresas. La experimentación computacional que se desarrolló este trabajo permitió identificar la capacidad de la metaheurística en obtener un conjunto de soluciones no dominadas donde se explora la relación de compromiso de estos objetivos y la distribución y cobertura de las soluciones.

Como línea de trabajo a futuro se identifica continuar perfeccionando la herramienta para obtener Frentes de Pareto de soluciones que presenten una menor dispersión de los resultados. Además, se plantea efectuar una comparación de las soluciones obtenidas contra los alcanzadas mediante un modelo de programación lineal entera mixta.

4. REFERENCIAS

Arnold, F. y Sörensen, K. (2019). What makes a VRP solution good? The generation of problem-specific knowledge for heuristics. Computers & Operations Research,106, 280-288.

Constantino, M., Gouveia, L., Mourão, M. y Nunes, A. (2015). The mixed capacitated arc routing problem with non-overlapping routes.European Journal of Operational Research,244(2), 445-456.

Corberán, Á., Golden, B., Lum, O., Plana, I. y Sanchis, J. (2017). Aesthetic considerations for the min-max K-Windy Rural Postman Problem. Networks, 70(3), 216-232.

Dantzig, G. B. y Ramser, J. H. (1959). Optimum routing of gasoline delivery trucks. Proc. Fifth World Petroleum Cong, 19.

Ellegood, W. A., Solomon, S., North, J. y Campbell, J. F. (2020) School bus routing problem: Contemporary trends and research directions. Omega, 95, 102056.

Engrand, P. y Mournay, X. (1998). Une méthode originale d'optimisation multiobjectif. Reporte Técnico HT-14/97/035/A, EDF-DER.

Fermani, M., Rossit, D. G. y Toncovich, A. (2019) Un estudio comparativo de algoritmos metaheurísticos sobre instancias reales de problemas de recolección de RSU. En: XII Congreso de Ingeniería Industrial. Río Gallegos, Argentina.

Hollis, B. y Green, P. (2012). Real-life vehicle routing with time windows for visual attractiveness and operational robustness.Asia-Pacific Journal of Operational Research,29(04), 1250017.

Lakshmanaprabu, S., Shankar, K., Rani, S., Abdulhay, E., Arunkumar, N., Ramirez, G. y Uthayakumar, J. (2019) An effect of big data technology with ant colony optimization based routing in vehicular ad hoc networks: Towards smart cities. Journal of Cleaner Production, 217, 584-593.

Li, Y., Lim, M. K., Tan, Y., Lee, Y. y Tseng, M. L. (2020) Sharing economy to improve routing for urban logistics distribution using electric vehicles.Resources, Conservation and Recycling, 153, 104585.

Nesmachnow, S., Rossit, D. G. y Toutouh, J. (2018) Comparison of Multiobjective Evolutionary Algorithms for Prioritized Urban Waste Collection in Montevideo, Uruguay. Electronic Notes in Discrete Mathematics, 69, 93-100.

Poot, A., Kant, G. y Wagelmans, A. P. M. (2002). A savings based method for real-life vehicle routing problems.Journal of the Operational Research Society,53(1), 57-68.

Rossit, D., Vigo, D., Tohmé, F. y Frutos, M. (2019) Visual attractiveness in routing problems: A review. Computers & Operations Research, 103, 13-34.

Rossit, D. y Toncovich, A. (2023). Un modelo biobjetivo para optimizar los tiempos de viaje y la compacidad de las rutas en problemas de ruteo de vehículos. En: XVI Congreso de Ingeniería Industrial. San Nicolás, Argentina.

Rossit, D., Toncovich, A. y Fermani, M. (2021). Routing in waste collection: A simulated annealing algorithm for an Argentinean case study. Mathematical Biosciences and Engineering: MBE, 18(6), 9579-9605.

Shi, L., Zhang, Y., Rui, W. y Yang, X. (2019) Study on the bike-sharing inventory rebalancing and vehicle routing for bike-sharing system. Transportation research procedia, 39, 624-633.

Toth, P. y Vigo, D. (2014) The vehicle routing problem. Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, Estados Unidos de América.

Ulugu, E., Teghem, J., Fortemps, P. y Tuytttens, D. (1999). MOSA method: a tool for solving multiobjective combinatorial optimization problems. Journal of Multicriteria Decision Analysis, 8(4), 221-236. https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1360(199907)8:4<221::AID-MCDA247>3.0.CO;2-O

Vidal, T., Laporte, G. y Matl, P. (2020). A concise guide to existing and emerging vehicle routing problem variants. European Journal of Operational Research,286(2), 401-416.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por los proyectos de investigación PGI 27/ZJ50 y 24/J096 de la Universidad Nacional del Sur. El primer autor de este trabajo fue financiado por una Beca de Entrenamiento de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires.

"CONTRIBUCIÓN DE LA HERRAMIENTA LEAN MANUFACTURING EN LA MEJORA CONTINUA DE LAS PYMES METAL MECÁNICAS"

Cohen, Rodolfo Saúl; Mantulak, Mario José.

Laboratorio GTEA, Ing. Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones.
Juan Manuel de Rosas 325, Oberá (3360), Misiones.
*rsaulcohen@gmail.com/*saulcohen@fio.unam.edu.ar*; mmantulak@gmail.com*

RESUMEN

El escenario económico actual requiere de cambios en la gestión de las pequeñas y medianas empresas (Pymes) con énfasis en entregas tempranas y continuas, procesos eficaces y flexibles, el uso de la tecnología y la información y la formación de recursos humanos, donde enfrentan desafíos como baja utilización de herramientas de gestión, falta de actualización tecnológica y flujos inadecuados, entre otros.

En el presente artículo, se analiza los beneficios y la contribución de la implementación de la herramienta Lean Manufacturing en la mejora continua en las Pymes metal mecánicas de la provincia de Misiones, Argentina, con el propósito de mejorar los procesos mediante el uso de herramientas como el mapa de flujo de valor (VSM). Lográndose como principales resultados, aplicar la primera fase en el estudio de caso presentado, obteniendo mejoras en el layout, en los procesos de fabricación mediante el mapa de flujo de valor (VSM) el cual permitió identificar actividades que no generan valor y minimizar los desperdicios dentro del proceso. En términos de trabajos a futuro, se resalta la importancia de continuar con las otras fases del modelo de implementación, aplicar la metodología 5S y pasar a la estandarización de los procesos.

Palabras Claves: Lean Manufacturing; Mejora continua; Mapa de Flujo de Valor; Fases de Implementación; Pymes metalmecánicas.

ABSTRACT

The current economic scenario requires changes in the management of small and medium-sized companies (SMEs) with emphasis on early and continuous deliveries, effective and flexible processes, the use of technology and information and the training of human resources, where they face challenges. such as low use of management tools, lack of technological updating and inadequate flows, among others.

In this article, the benefits and contribution of the implementation of the Lean Manufacturing tool in continuous improvement in metal-mechanical SMEs in the province of Misiones, Argentina, are analyzed with the purpose of improving processes through the use of tools such as the value stream map (VSM). The main results were achieved: applying the first phase in the case study presented, obtaining improvements in the layout, in the manufacturing processes through the value flow map (VSM), which allowed identifying activities that do not generate value and minimizing waste. within the process. In terms of future work, the importance of continuing with the other phases of the implementation model, applying the 5S methodology and moving to the standardization of processes is highlighted.

Keywords: Lean Manufacturing; Continuous improvement; Value Stream Map; Implementation Phases; Metalworking SMEs.

1.INTRODUCCIÓN

Las empresas actualmente buscan cada día ser más competitivas en el mercado, y la solución a esto, la encuentran en la diversificación de productos y/o servicios que ofrecen, ya que esto les permite posicionarse en mercados globales. En este sentido, el alcance mundial hace que la expansión de productos, tecnología, información, competitividad y generación de empleos se establezca más allá de culturas y fronteras. Esto provoca que los clientes busquen los mejores productos y/o servicios que satisfagan sus necesidades (Barrios et al., 2022). Por lo comentado anteriormente, se puede ver el intento de innovar mejorar estas empresas haciéndolas más eficaces y competitivas, llevándolas a la búsqueda continua de innovación en el diseño de nuevos productos y de sus procesos, que les permita afrontar el mercado fluctuante actual con el fin de satisfacer las demandas del mercado.

En la actualidad cada vez más las organizaciones de desarrollo de bienes y servicios buscan un factor diferenciador, que les permita ofrecer a sus clientes productos de calidad, reduciendo sus costos e incrementando su productividad con el objetivo de agregar más valor, mejorando su productividad y competitividad. Esto se logra de acuerdo con Cuatrecasas (2016), mediante modelos de gestión utilizados en la conducción de las empresas persiguen fundamentalmente; la eficiencia en el uso de sus recursos y la competitividad para su desarrollo en el mercado. La actividad productiva que desarrolla una empresa debe estar organizada de manera que logre los objetivos previstos, optimizándolos en lo posible, técnica y económicamente con el empleo de los sistemas de gestión adecuados y más avanzados.

Las Pymes constituyen un componente fundamental dentro del espectro empresarial en América Latina. Su importancia se manifiesta a través de formas en la región, como su participación en el número total de empresas o en la creación de empleos, llegándose a extender en algunos países por la participación en el producto (CEPAL, 2012, 2013; Dini et al., 2020). La estructura productiva en la región es diversa, con poca especialización de la mano de obra y productos de bajo valor agregado que influyen en el desempeño empresarial. En Argentina, las Pymes desempeñan un papel preponderante en las economías regionales y del país en general, a pesar de contar con menos recursos. Por tanto, es crucial desarrollar iniciativas para apoyar y sostener su crecimiento.

Esta rama es crucial para la generación de empleo en la industria y requiere una variedad de especialidades para operar, incluyendo mecánicos, técnicos, herreros, soldadores, electricistas, torneros e ingenieros (Flores et al., 2018). Tanto factores internos como externos afectan el desempeño y eficiencia de las empresas en este sector. Los actuales modelos de gestión empresarial gestionan producciones con poca flexibilidad y no se adaptan a las cambiantes necesidades del cliente. Estas deficiencias se reflejan en los bajos niveles de productividad y competitividad empresarial. Además, se ven impactadas las actividades relacionadas con la transformación del insumo y materia prima en producto final, así como las técnicas de planificación de producción y los controles realizados (Paravié et al., 2012; Rete & Pinto, 2019).

Según estudios realizados por diferentes autores Bareño (2020); Laurenziello (2017); Maccarone (2017); Quezada-Torres et al. (2018) en los que se detallan las debilidades de las Pymes, en particular en el sector metalmecánico de la Argentina y en Latinoamérica, pueden resumirse como: baja utilización de herramientas de gestión que favorezcan la eficiencia en los procesos operativos y en la toma de decisiones; necesidad de actualización tecnológica de los equipos utilizados en los procesos productivos; inadecuados flujos de procesos; falta de control de las operaciones; ausencia de estandarización de productos y falta de capacitación de la mano de obra. Por lo tanto, para ser más eficientes y efectivas en el mercado en el cual participan, las Pymes tienen que estar constantemente mejorando o innovando tanto sus procesos como sus productos, ya que de esa manera obtienen un margen de utilidad mayor, además de generar una operación más eficiente, un mayor nivel de rendimiento y establecer diversas ventajas competitivas (López-Torres et al., 2016).

1.1 Sistema Lean Manufacturing

Lean es una palabra inglesa que se puede traducir como “ágil” o “esbelto”, aplicándolo a un sistema productivo significa “flexible”; es decir, la cualidad de adaptarse a las necesidades del cliente. Se basa en la reducción de los recursos innecesarios y la eliminación de los retrasos en las operaciones de la fábrica El término Lean (esbelto) introducido por primera vez por dos importantes libros: The machine that changed the world, de James Womack, Daniel Jones y Daniel Roos; y Lean Thinking, de James Womack y Daniel Jones. Los autores anteriores fueron lo que dieron el nombre de Lean Manufacturing al sistema (Vargas-Hernández et al., 2016).

De acuerdo a Krajewski (2013) los sistemas esbeltos abarcan la estrategia de operaciones, diseño de procesos, administración de la calidad, administración de restricciones, diseño de la distribución física, diseño de la cadena de suministro, gestión de la tecnología e inventarios de una empresa, y puede usarse tanto en empresas de servicios como manufactureras. Se define como una filosofía de trabajo, basada en las personas, que define la forma de mejora y optimización de un sistema de producción focalizándose en identificar y eliminar todo tipo de "desperdicios", que se observan en la producción: sobreproducción, tiempo de espera, transporte, exceso de procesado, inventario, movimiento y defectos (Matías & Idoipe, 2013).

1.2 Los Pilares del Lean Manufacturing

Los pilares del lean manufacturing presentado por Carreras (2010) se dividen en tres y son los siguientes: la filosofia kaizen (mejora continua), el control total de la calidad en todas las actividades, y el Just In Time. El primer pilar es la mejora kaizen, consiste en una acumulación gradual y continua de pequeñas mejoras hechas por todos los empleados y directivos. El segundo pilar es el Control Total de la Calidad, cuyas primeras palabras fueron empleadas por primera vez por el norteamericano Feigenbaum donde exponía que todos los departamentos de la empresa, deben implicarse en el control de la calidad, porque la responsabilidad del mismo recae en los empleados de todos los niveles (Carreras, 2010). Por último, el tercer pilar, el Just In Time pretende fabricar los artículos necesarios en las cantidades requeridas y en el instante preciso.

La producción esbelta de acuerdo a Chase et al. (2009), se basa también en la lógica de que no se va a producir nada hasta que se necesite. La necesidad de producción se crea con base en la demanda real del producto. La transición desde una producción tradicional a una esbelta, flexible y ágil requiere además de cumplir con todo lo anterior, también sobrevivir y avanzar en las condiciones de los cambios continuos e impredecibles (Bednarek & Santana Villagra, 2017). Estos conceptos de agilidad, se muestra en la Figura 1.

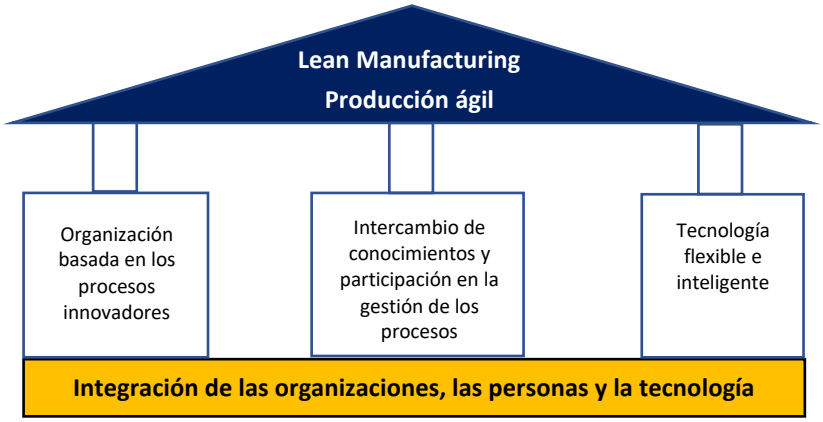


Figura 1. Conceptos de agilidad.
Fuente: Bednarek and Santana Villagra (2017); Hernández and Vizán (2013).

1.3 Principios del sistema Lean

En su trabajo Liker and Arbós (2010) definen el enfoque Lean manufacturing como un proceso de cinco pasos: definir el valor del cliente, definir el flujo de valor, hacerlo fluir, tirarlo (pull) desde el final (cliente) y perseguir la excelencia. Para una producción lean se requiere un cambio de mentalidad enfocándose en la realización del flujo de producto a través de procesos de valor añadido, con un sistema "pull" que avanza desde el final a partir de la demanda del cliente completando sólo lo que la siguiente operación necesita, en intervalos cortos, y en una cultura en que cada uno está continuamente persiguiendo la mejora. Cuando se usa el método de "tirón" o de jalar, la demanda del cliente activa la producción del bien o servicio.

De acuerdo a lo que comenta Locher (2017) el trabajo estandarizado es una de las bases del pensamiento Lean, es el mejor medio conocido para realizar una actividad de forma eficaz y eficiente. Otra de las cosas es que el trabajo estandarizado define la secuencia deseada de pasos, el tiempo necesario para dar los pasos y otros elementos que aseguren que una determinada actividad se lleva a cabo de forma regular a lo largo del tiempo.

A continuación, definimos el despilfarro, como todo aquello que no añade valor al producto o que no es absolutamente esencial para fabricarlo y que resulta necesario para realizar las actividades

y que ayudan a la estandarización de los procesos. Una vez iniciada la batalla para disminuir el despilfarro, hay que focalizarse en su localización e identificar los distintos tipos de despilfarros en que este puede presentarse. Los mismos se identifican en todos los procesos de manufactura y en particular en las Pymes metalmecánicas son los siguientes: sobreproducción, tiempo de espera, transporte o movimientos innecesarios, sobre proceso, stock, defectos o errores generados por los operarios.

De acuerdo con el panorama señalado y que caracteriza la situación problemática, es que se torna indispensable avanzar en trabajos que contribuyan a mejorar los procesos productivos en las Pymes metalmecánicas latinoamericanas, sobre la base del fortalecimiento de la capacidad de producción a partir de la herramienta Lean Manufacturing. Por ello, el objetivo de este trabajo es analizar los beneficios y la contribución de la implementación de la herramienta Lean Manufacturing en la mejora continua en las Pymes metal mecánicas de la provincia de Misiones, Argentina.

2. METODOLOGÍA

El método de estudio de caso es una herramienta valiosa de investigación, y su mayor fortaleza radica en que a través del mismo se mide y registra la conducta de las personas involucradas en el fenómeno estudiado. Además, en el método de estudio de caso los datos pueden ser obtenidos desde una variedad de fuentes, tanto cualitativas como cuantitativas; esto es, documentos, registros de archivos, entrevistas directas, observación directa, observación de los participantes e instalaciones u objetos físicos (Carazo, 2006). el estudio de casos una posición cercana al realismo, con métodos objetivos de búsqueda y análisis de la evidencia es posible llegar a teorías confiables (Yacuzzi, 2005).

El estudio inicial se realiza en una empresa metalmecánica ubicada en la ciudad de Posadas provincia de Misiones, la cual realiza proyectos en la cual diseña, fabrica y realiza instalaciones metalmecánicas.

2.1 Modelo de implementación de Lean Manufacturing.

A continuación, se presenta la propuesta de Cadavid (2013), en la Figura 2, como un proceso de mejoramiento definido en cuatro fases, es necesario incluir formalmente la necesidad del Kaizen (mejoramiento continuo) como actividad principal y permanente de cualquier implementación de Lean Manufacturing. Esta se ubica en la parte superior, representando la cultura de mejoramiento continuo, la cual es gradual, ya que la forma de pensar y actuar de las personas no cambia instantáneamente, de un día para otro.

Las fases que lo componen son las siguientes: se inicia en su primera fase, con el mapa de flujo del proceso (VSM), continuando con la organización de la casa (5S), diseño de los mejores procesos internos y por último la conexión con la demanda (pull- push, donde el cliente jala o empuja).

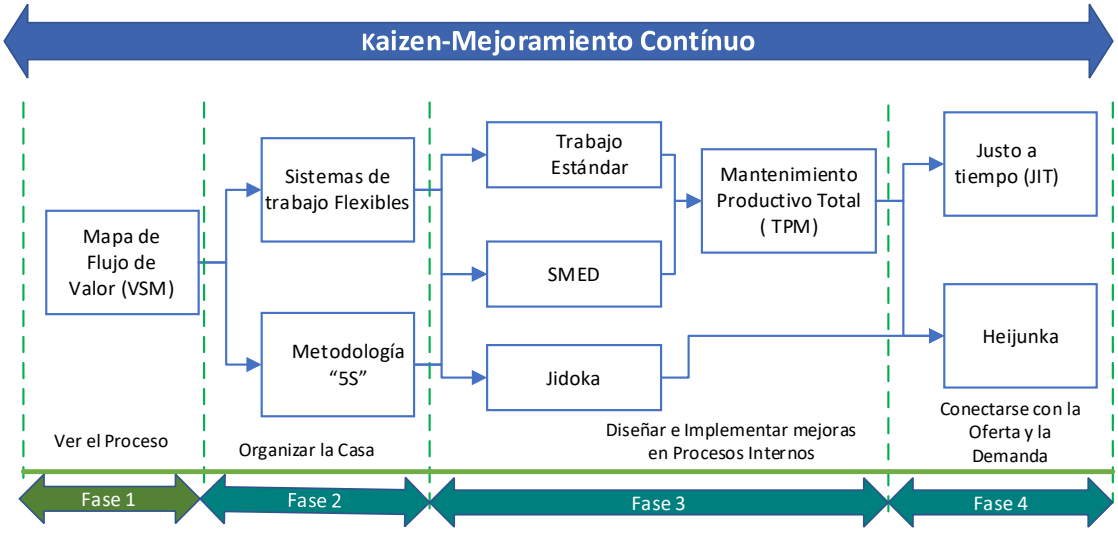


Figura 2. Modelo de implementación de Lean Manufaturing.
Fuente: Adaptado de Cadavid (2013).

En la segunda fase, es necesario organizar la planta por celdas de trabajo tipo "U" con grupos de

trabajo flexibles, posteriormente aplicar la metodología 5S. En la tercera fase se procede a la estandarización de los procesos, en las operaciones y procedimientos de trabajo, es necesario haber desarrollado el entrenamiento específico para el trabajo de la celda, la organización del lugar de trabajo y documentar los procesos. Enfocarse a un mantenimiento cada vez más autónomo y productivo y en la última fase establecer el contacto con los clientes.

2.2 Mapa de Flujo de valor (VSM)

De acuerdo a Carreras (2010) es una herramienta gráfica de mejora continua de procesos, que permite visualizar todas las actividades que ocurren a lo largo de un flujo de valor (necesarios en el proceso de fabricación) cuyo objetivo principal es identificar las actividades que no generan valor, para un producto o familia de productos (Ver Figura 3)(Quesada et al., 2018) . En particular, como herramienta de diagnóstico se sugiere el mapa de flujo de valor o Value Stream Map (VSM), donde se establecen los criterios para la construcción de un VSM actual (Singh & Sharma, 2009). Además, de presentar la información de tiempos de procesamiento, tiempos de espera en inventario y lead times totales, facilita la detección de oportunidades de mejoramiento aplicando las técnicas Lean. Es posible intervenir sobre las cantidades de inventarios o los tiempos de trabajo o espera, pero cualquier cambio favorable en una de esas variables tendrá inmediatamente un impacto positivo en la otra (Cadavid, 2013).

El análisis del flujo del valor permitirá mostrar tres tipos de actividades: las que generan valor y son vitales para el proceso. 2) las que no generar valor. 3) las actividades que no agregan valor y pueden ser eliminadas. Dentro del gráfico se representan el flujo de materiales, flujo de información e indicadores clave, a lo largo de los distintos procesos (actividades) de la cadena de valor (Carballo-Mendívil et al., 2018).

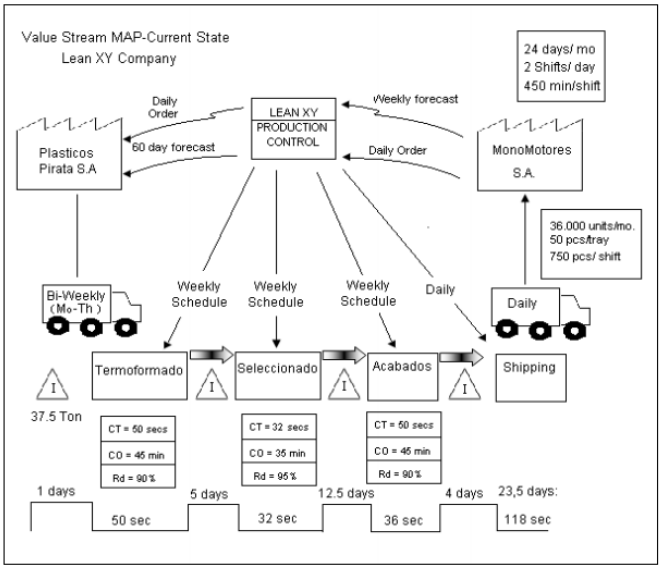


Figura 3. Mapa de la Cadena de Valor del Producto XY.
Fuente:Cadavid (2013).

Cálculo del Tack Time

En segundo término se calcula El Tack Time es el ritmo de producción (frecuencia en la que un producto terminado abandona la línea) que debe llevar el sistema para poder satisfacer las necesidades del cliente y se define en la ecuación (4.1).

$$\boldsymbol{Tack\ Time} = \ tiempo\ disponible\ por\ periodo / demanda\ por\ periodo\ del\ cliente \qquad (4.1)$$

$$Tiempo\ disponible\ por\ periodo\ (td) = \ tiempo\ por\ periodo - \ tiempo\ de\ descansos\ (reunión\ o\ limpieza\ etc.)$$

A continuación, se define el tiempo del ciclo *(TC)* como el tiempo que pasa entre la salida de un producto y el siguiente, mediante la ecuación 4.2:

$$\boldsymbol{TC} = \ tiempo\ disponible\ por\ periodo / \ cantidad\ producida\ por\ periodo. \qquad (4.2)$$

Lote se refiere al número de unidades a producir. Tiempo de cambio de partida (TCP), es el tiempo que se tarda en cambiar de un tipo de producto a otro tipo de producto.

La capacidad Actual de producción

La capacidad actual está definida mediante la ecuación 4.3. El tiempo de funcionamiento *(tf)*, es el porcentaje de tiempo en que la máquina está ocupada en demanda.

$$\boldsymbol{Capacidad\ Actual} = (td/TC).tf \qquad (4.3)$$

Cálculo del Lead Time

Estimar el lead-time (tiempo que necesita desde la llegada de la materia prima hasta el despacho al cliente), está definida en la ecuación 4.4, estará formado básicamente por la suma de: El tiempo que tarda una pieza en ser procesada, a partir del tiempo de ciclo de cada proceso: (TVA) o llamado tiempo de valor añadido.

El tiempo de espera de una pieza en las áreas de inventario (TNVA) se define como:

$$\boldsymbol{TNVA} = (unidades\ de\ inventario/\ demanda\ diaria) \qquad (4.4)$$

Cálculo del ratio de valor (VAR)

El valor del ratio de valor (VAR) se define mediante la ecuación 4.5, como la relación entre el tiempo que genera valor y el que no genera valor:

$$\boldsymbol{Valor\ del\ radio\ de\ valor\ (VAR)} = TVA/TVNAVAR \qquad (4.5)$$

Este indicador de valor nos indica , cuanto de valor agregado que le estamos aportando al producto y si debemos realizar mejoras que incrementen dicha relación.

3. RESULTADOS

Se estudia la utilidad de la aplicación de procesos esbeltos (Lean) en una empresa metalmecánicas analizada como caso de estudio en la provincia de Misiones, analizando el proceso de fabricación ca campanas de extracción de aire, mediante el uso de análisis del Flujo de valor.

En la primera fase (de acuerdo a la Figura 2) se procede a analizar el proceso en forma detallada los diagramas de bloque de manera de identificar los procesos críticos y productos no conformes y las actividades que no generen valor en el servicio de posventa y garantía, para dar paso al análisis mediante el mapa de flujo de Valor (VSM). El análisis del flujo del valor permitirá mostrar tres tipos de actividades: las que generan valor y son vitales para el proceso. 2) las que no generar valor. 3) las actividades que no agregan valor y pueden ser eliminadas.

Dentro del gráfico se representan el flujo de materiales, flujo de información e indicadores clave, a lo largo de los distintos procesos (actividades) de la cadena de valor (Carballo-Mendívil et al., 2018).



Figura 4. Diagrama de bloque del proceso de Fabricación de Campanas de extracción de aire. Fuente: Elaboración propia.

Cálculo del Tack Time

La demanda mensual campanas de extracción domiciliarias, es de 60 unidades por mes (Este valor sale de considerar el punto de equilibrio, para cubrir los costos fijos y variables, definidos en un estudio anterior), lo cual representa una demanda de 3 un/dia, tomando 20 días hábiles al mes.

Para el caso de la empresa analizada, se calcula la TT (ecuación 4.1), se tendrá un solo turno de 8 hs por día, con dos descansos de 15 min cada 4 hs, se define el tiempo disponible (td):

$$tiempo\ disponible\ (td) = 8\ hs.x60\ min - 2x15\ min = 450\ min.$$
$$Tack\ Time = 450\ min/\ 3\ uni/dia = 150\ min/un.$$

Luego para realizar el diagrama de flujo se representan los procesos de izquierda a derecha. Debajo de cada proceso pasamos a definir y calcular una serie de indicadores, los de valores de tiempos se estimaron por comparación de trabajos realizados en el armado de campanas industriales similares y de piezas de fabricadas para ventilación mecánica.

La capacidad de producción

El Tiempo de funcionamiento (tf) de una máquina, en un día de 8 hs está ocupada trabajando 6 hs, su ocupación tf será del 75%, definiendo la capacidad actual mediante la ecuación 4.3.

$$\boldsymbol{Capacidad\ Actual} = \frac{450min.}{8hs.60min} x0{,}75 = 0{,}70$$

El paso siguiente se identifica en los procesos, el inventario (es donde se detiene el flujo) indicándose con un triángulo. También se dibujan los despachos de entrada y salida de materiales o productos terminados por medio de camiones. Se dibujan además los proveedores más importantes.

El flujo de información se representa por una línea delgada en zigzag cuando fluya por conductos electrónicos en lugar de papel. El flujo “push” (empujar) para el caso que estamos presentando de la campana extractora se indica con una flecha negra y blanca.

Cálculo del Lead Time

Se dibuja una línea de tiempo debajo de los casilleros de cada proceso, separando los tiempos correspondientes a actividades de valor añadido del de actividades de No valor añadido.

El tiempo que tarda una pieza en ser procesada (a partir del tiempo de ciclo de cada proceso), llamado tiempo de valor añadido (TVA). El tiempo de valor añadido para el caso que analizamos estimativamente se tiene las siguientes actividades y su tiempo de ciclo (Ver Figura 4 y 5) de corte, plegado, armado, soldado, pulido, armado de partes y conexionado-prueba final):

$$TVA = (15 + 15 + 20 + 20 + 20 + 40 + 20)min = 150\ Min.$$

El tiempo de no valor añadido (ver Ecuación 4.4) de acuerdo a cada inventario entre los procesos valdrá para el caso de corte de la chapa que tenemos un inventario de 50 chapas se obtiene:

$$TNVA = 50\ unidades\ /3\ unidades/dia = 17\ días$$
$$TVNA = 17 + 3 + 2 + 2 + 2 + 2 = 28\ días.$$

Cabe mencionar que el nuevo sistema tendrá en cuenta el mapeo de la cadena de valor tanto para analizar el desarrollo de producto actual como para diseñar el estado futuro, lo cual permitirá detectar desperdicios y diseñar de manera armónica las diferentes actividades que lo componen.

El valor del radio de valor (VAR) (ver ecuación 4.5), vale:

$$\boldsymbol{Valor\ del\ radio\ de\ valor\ (VAR)} = 150min/28\ diasx8hsx60 = \mathbf{0{,}011}$$

Con la cual se demuestra que actualmente es muy bajo el valor agregado que le estamos aportando al producto y debemos realizar mejoras que incrementen dicha relación.

Todos estos valores se pueden apreciar en el Diagrama de Flujo de Valor (VSM) en la Figura 5, en la que se representa esquemáticamente el proceso de fabricación de la campana de extracción, de forma que permita una fácil identificación de las operaciones que aportan valor con respecto a las operaciones que serán consideradas mudas o desperdicios, permitiendo esto priorizar las acciones de mejora futura. Además permite leer de derecha a izquierda, la información que proporcionan las órdenes de compra de los clientes, las cuales permiten la ejecución de un proceso de planeación que emite un pronóstico de compra a los proveedores, actividades administrativas y de gestión que se involucran en el logro del cumplimiento de los objetivos de la empresa vista como un todo (Carballo-Mendívil et al., 2018).

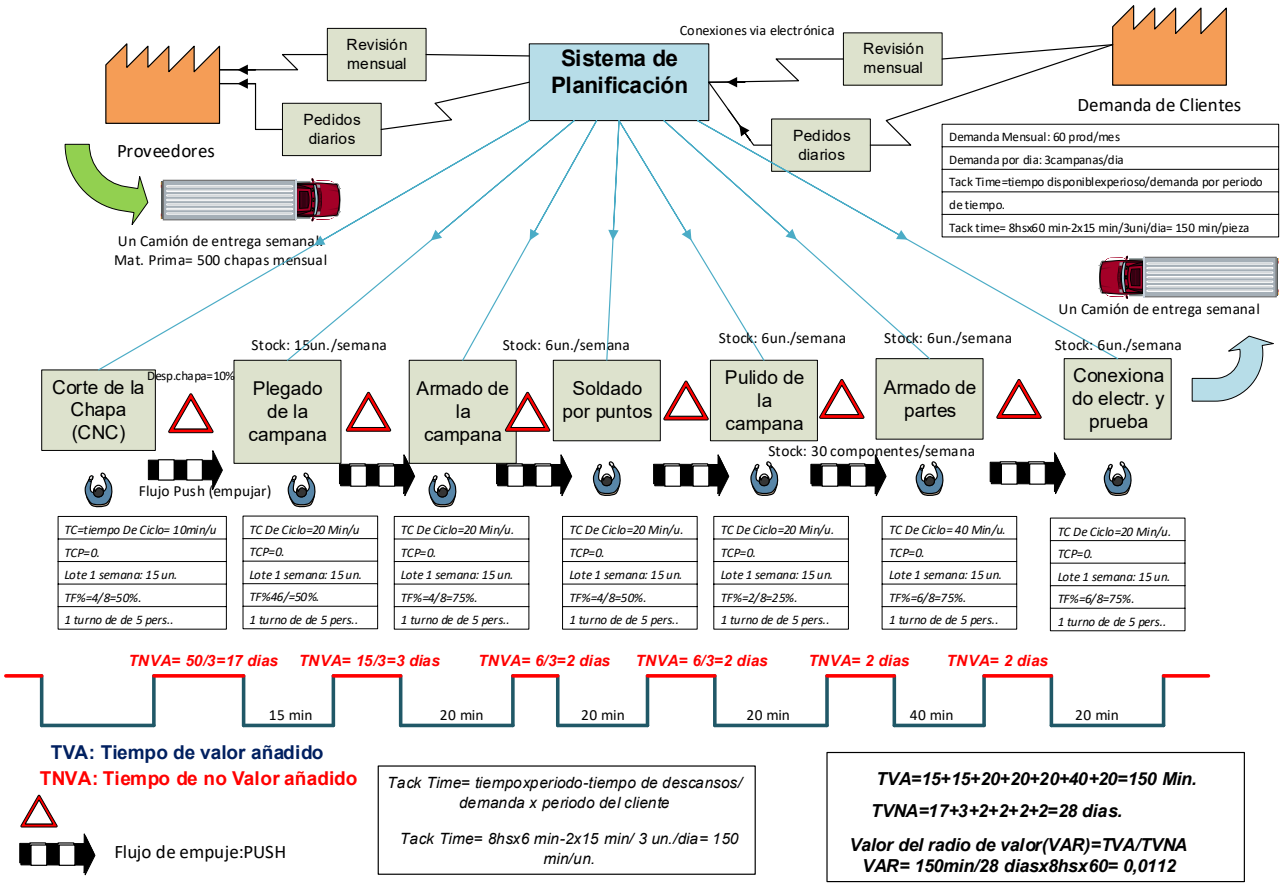


Figura 5. Diagrama de Flujo de Valor (VSM) para la fabricación de campanas extractoras.

Fuente: Elaboración propia.

En base a estos primeros resultados en la pyme metalmecánica analizada, se realizaron los cambios, mejoras e innovaciones en el esquema de ubicación maquinas (Layout) del proceso de fabricación, con el fin de disminuir algunos de los desperdicios identificados, como el tiempo de transportes, de movimientos y de esperas. Se adaptó la entrada y salida de materia prima (chapas) donde el almacenamiento se encontraba alejado del lugar donde se carga la chapa en la máquina de corte CNC, por lo que ese tiempo de transporte era elevado. Se agregó para la descarga de chapas (desde el camión) por medio de un aparejo eléctrico, lo que permitirá disminuir los tiempos transporte sobre el apilador de chapas en forma casi directa a la mesa de corte. (Cohen, 2021).

Los siguientes pasos a futuro a desarrollar en el estudio de caso analizado, es avanzar con las fases 2 y 3, planteado en el modelo de implementación (Ver Figura 3), donde en la fase 2 (organizar la casa) debemos aplicar la metodología 5S y celdas de trabajo flexible. Luego pasamos a la estandarización de los procesos y procedimientos de trabajo en la fase 3, donde es necesario haber desarrollado el entrenamiento específico para el trabajo de la celda, la organización del lugar de trabajo y documentar los procesos. Enfocarse a un mantenimiento cada vez más autónomo y productivo y en la última fase establecer el contacto con los clientes.

Dentro de las herramientas de seguimiento propias de Lean a ser utilizado en cada una de estas fases, es el uso de los indicadores clave de desempeño o key performance indicator (kpi), a través de los cuales es posible examinar el comportamiento de los procesos y los flujos del sistema productivo (Sarria Yépez et al., 2017). La implementación de Indicadores de seguimiento de objetivos (KPI´s) son herramientas indispensables para dirigir una organización o un proceso, generando así ciclos de mejora en cada una de estas fases. Disponer de los indicadores adecuados permite anticiparse a los problemas y que todo el personal de la empresa esté alineado con los objetivos y estrategias de la misma (Martín Vázquez, 2013).

4. CONCLUSIONES

La implementación efectiva del Lean Manufacturing puede contribuir significativamente a mejorar la eficiencia operativa y competitividad en las Pymes metalmecánicas. En este trabajo en particular

se resalta la aplicación de la primera fase en el estudio de caso presentado, obteniendo mejoras en el layout, la reducción de desperdicios en los procesos de fabricación mediante el mapa de flujo de valor (VSM) se logró identificar actividades que no generan valor y minimizar los desperdicios dentro del proceso.

El mapa de flujo de valor muestra gráficamente en la parte inferior con la línea en zig-zag, en cada una de las actividades del proceso, identificando los tiempos que se agrega valor y los tiempos que no se agrega valor, siendo dichos tiempos muy importantes para poder realizar mejoras en cada punto del proceso, representado por el ratio o indicador de valor, dichas mejoras pueden ser llevadas a cabo acortando los tiempos de movimientos por medio de celdas de trabajo flexibles, planteadas en la fase 2. Otros de los datos representados en el mapa de flujo de valor son los flujos de materiales e información, la relación entre los proveedores y la cadena de valor, y los requerimientos de los clientes; tiempos de entrega, disponibilidad del proceso, métodos de programación de la producción, consumo energético.

Los pasos a futuro y que pueden dar lugar a nuevas líneas de estudio, es continuar con las otras fases del modelo de implementación planteado, mediante la utilización de la metodología “5S” y celdas de trabajo flexible. Luego pasar a la estandarización de los procesos y procedimientos de trabajo. Además, se sugiere el uso de indicadores clave del desempeño (KPIs) para realizar un seguimiento continuo y medir la eficiencia del proceso.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bareño, E. O. A. (2020). Integración de Lean, Design Thinking y Agile en la gestión de proyectos. *SIGNOS-Investigación en sistemas de gestión*, *12*(2), 161-174.

Barrios, M. E. S., Quintero, W. Q., & Ascanio, J. G. A. (2022). Innovación Abierta: Un análisis bibliométrico. *Desarrollo Gerencial*, *14*(2), 1-33.

Bednarek, M., & Santana Villagra, J. M. (2017). La aplicación del Lean Manufacturing: los casos de Polonia, México y Chile (modelos, práctica y experiencia). In: Universidad Autónoma de Chile.

Cabrera Valverde, H. S. (2016). Propuesta de mejora de la calidad mediante la implementación de técnicas Lean Service en el area de servicio de mécanico de una empresa automotriz.

Cadavid, L. R. (2013). Justificación conceptual de un modelo de implementación de Lean Manufacturing. *Heurística. Octubre*.

Carazo, P. C. M. (2006). El método de estudio de caso: estrategia metodológica de la investigación científica. *Pensamiento & gestión*(20), 165-193.

Carballo-Mendívil, B., Arellano-González, A., & Ríos-Vázquez, N. J. (2018). La Gestión De Procesos Como Principio De Mejora Un Caso Aplicado a Una Comercializadora. *3C Empresa*, *7*(3), 60.

Carreras, M. R. (2010). *Lean Manufacturing. La evidencia de una necesidad*. Ediciones Díaz de Santos.

CEPAL, N. (2012). Perspectivas económicas de América Latina 2013: políticas de PYMES para el cambio estructural.

CEPAL, N. (2013). *Perspectivas económicas de América Latina 2014: logística y competitividad para el desarrollo*. OCDE.

Chase, R., Jacobs, R., & Aquilano, N. (2009). Administración De Operaciones. Producción y cadena de suministros. In: Duodécima Edición. Editores: Mcgraw-Hill / Interamericana. .

Cohen, R. S. (2021). Aplicación de técnicas de desarrollo de productos con enfoque Lean Thinking asociado a una gestión de cambio agile en una empresa metal mecánica. XI-JIDeTEV-2021,

Cuatrecasas, L. (2010). Lean management, la gestión competitiva por excelencia: implantación Progresiva en 7 etapas Editorial Profit. In: Barcelona.

Cuatrecasas, L. (2016). *Claves del lean management en tiempos de maxima competitividad: Cómo gestionar en la práctica una empresa altamente competitiva*. Profit Editorial.

Dini, M., Stumpo, G., & Eueopea, U. (2020). *Mipymes en América Latina: un frágil desempeño y nuevos desafíos para las políticas de fomento*. Cepal.

Flores, A., Monzón, C., Bernal, P. G., Arquier, P. L., Pérez, M., Villamil, A., . . . Castellani, A. (2018). La Industria Metalmecánica en Chaco. Indicios para su Desarrollo. In: EscueladeGobierno.

Hernández, J., & Vizán, A. (2013). Lean manufacturing Conceptos, técnicas e implantación. *Madrid: Fundación EOI*, *178*, 978-8415061403.

Krajewski, L. J., Ritzman, Larry P.& Malhotra, Manoj K. . (2013). *Administración de operaciones. Procesos y cadena de suministro.*

Laurenziello, M. S. (2017). *Aplicación Práctica de Herramientas de Calidad para la búsqueda de eficiencia en Industrias Pyme metal-mecánicas de la Republica Argentina.* Universidad de Palermo.

Liker, J. K., & Arbós, L. C. (2010). *Las claves del éxito de Toyota: 14 principios de gestión del fabricante más grande del mundo*. Gestión 2000.

Locher, D. (2017). *Lean office: Metodología Lean en servicios generales, comerciales y administrativos*. Profit Editorial.

López-Torres, G. C., Maldonado Guzmán, G., Pinzón Castro, S. Y., & García Ramírez, R. (2016). Colaboración y actividades de innovación en Pymes. *Contaduría y administración*, *61*(3), 568-581.

Maccarone, J. L. (2017). *Método de ponderación de la competitividad de PyMEs del sector industrial metalmecánico* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).].

Martín Vázquez, J. (2013). Indicadores de evaluación de la implementación del lean manufacturing en la industria.

Matías, J. C. H., & Idoipe, A. V. (2013). *Lean manufacturing: concepto, técnicas e implantación*. Fundación EOI.

Paravié, D., Rohvein, C., Urrutia, S., Roark, G., & Ottogalli, D. (2012). Diseño de un instrumento para evaluar el desempeño de las actividades que integran la cadena de valor de pymes metalmecánicas de Olavarría. *Inge Cuc*.

Quesada, H. J., Buehlmann, U., & Arias, E. (2018). Pensamiento Lean: ejemplos y aplicaciones en la industria de productos de madera.

Quezada-Torres, W. D., Hernández-Pérez, G. D., González-Suárez, E., Comas-Rodríguez, R., Quezada-Moreno, W. F., & Molina-Borja, F. (2018). Gestión de la tecnología y su proceso de transferencia en Pequeñas y Medianas Empresas metalmecánicas del Ecuador. *Ingeniería Industrial*, *39*(3), 303-314.

Rete, O. M., & Pinto, O. I. (2019). Analisis de Factibilidad Operacional del Modelo Lean Management en Pymes del Parque Industrial, San Francisco Cordoba Argentina. IV Congreso Internacional de Investigación de la Red Radar. Colombia.

Rivera Cadavid, L. (2013). Justificación conceptual de un modelo de implementación de lean manufacturing.

Sarria Yépez, M. P., Fonseca Villamarín, G. A., & Bocanegra-Herrera, C. C. (2017). Modelo metodológico de implementación de lean manufacturing. *Revista EAN*(83), 51-71.

Singh, B., & Sharma, S. (2009). Value stream mapping as a versatile tool for lean implementation: an Indian case study of a manufacturing firm. *Measuring business excellence*, *13*(3), 58-68.

Vargas-Hernández, J. G., Muratalla-Bautista, G., & Jiménez-Castillo, M. (2016). Lean M anufacturing¿ una herramienta de mejora de un sistema de producción? *Ingeniería Industrial. Actualidad y nuevas tendencias*(17), 153-174.

Yacuzzi, E. (2005). *El estudio de caso como metodología de investigación: teoría, mecanismos causales, validación*.

"ÚLTIMA MILLA LOGÍSTICA EN LA CADENA DE SUMINISTRO GLOBAL DE PRODUCTOS FRESCOS FRUTIHORTÍCOLAS"

Berardi, María Betina[1]; Onaine, Adolfo Eduardo[1]

[1]Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata.
Av. Juan B. Justo 4302 - B7608FDQ Mar del Plata. bberardi@fi.mdp.edu.ar

RESUMEN

En el contexto de la cadena de suministro global, la logística desempeña un papel crucial en la eficiencia y la satisfacción del cliente. Uno de los desafíos más importantes que enfrentan las empresas es la optimización de la "última milla", es decir, la etapa final de entrega desde el centro de distribución al cliente final. En particular, la última milla de productos frutihortícolas frescos es un segmento complejo y desafiante que se caracteriza por requerir condiciones de temperatura y humedad controlada; envíos de volumen pequeño y alta frecuencia; consumidores en zonas urbanas congestionadas; y una ventana de entrega limitada debido a la naturaleza perecedera de los productos. Estos desafíos pueden resultar en mermas, retrasos y clientes insatisfechos. El objetivo del presente trabajo es realizar una revisión bibliográfica de los diversos aspectos relacionados con la última milla en el sector de productos frescos frutihortícolas. Se realizó un análisis bibliométrico en distintas bases de datos, obteniéndose una serie de indicadores tanto de calidad como de cantidad. Los resultados revelan que la mayoría de las publicaciones provienen de países desarrollados, donde se investiga ampliamente el uso de tecnologías avanzadas y soluciones innovadoras en la gestión de la última milla logística. En contraste, se percibe una notable escasez de estudios centrados en las cadenas de suministro de Latinoamérica.

Palabras Claves: cadena de suministro, última milla, logística, productos frutihortícolas.

ABSTRACT

In the context of the global supply chain, logistics plays a crucial role in efficiency and customer satisfaction. One of the most important challenges facing companies is the optimization of the "last mile", that is, the final stage of delivery from the distribution center to the final customer. In particular, the last mile of fresh fruit and vegetable products is a complex and challenging segment characterized by requiring controlled temperature and humidity conditions; small volume and high frequency shipments; consumers in congested urban areas; and a limited delivery window due to the perishable nature of the products. These challenges can result in losses, delays and dissatisfied customers. The objective of this work is to carry out a bibliographic review of the various aspects related to the last mile in the fresh fruit and vegetable products sector. A bibliometric analysis was carried out in different databases, obtaining a series of indicators of both quality and quantity. The results reveal that most publications come from developed countries, where the use of advanced technologies and innovative solutions in last mile logistics management is widely researched. In contrast, there is a notable lack of studies focused on Latin American supply chains.

Keywords: supply chain, last mile, logistics, fruit and vegetable products.

1. INTRODUCCIÓN

En el contexto de la cadena de suministro global, la logística desempeña un papel crucial en la eficiencia y la satisfacción del cliente. Sin embargo, uno de los desafíos más importantes que enfrentan las empresas es la optimización de la "última milla", es decir, la etapa final de entrega desde el centro de distribución al cliente final. Surge entonces un desafío importante: garantizar que el producto llegue en perfectas condiciones desde el almacén hasta el domicilio del cliente. Esta etapa final del proceso puede representar una dificultad considerable para las empresas. (Akkad, 2022)

La última milla de entrega se refiere al tramo final del recorrido de un producto desde su lugar de almacenamiento hasta su llegada al cliente final. Esta fase, aunque es la más tardía y costosa para las empresas, es crucial para asegurar la satisfacción del cliente. (Adarme Jaimes, 2014)

En particular, la última milla de la cadena de suministro de productos frutihortícolas frescos es un segmento complejo y desafiante. Se caracteriza por envíos de volumen pequeño y alta frecuencia, entregas en zonas urbanas congestionadas, requisitos de temperatura y humedad controladas, y una ventana de entrega limitada debido a la naturaleza perecedera de los productos. Estos desafíos pueden resultar en mermas, retrasos y clientes insatisfechos. (Orjuela-Castro, 2013)

Los principales desafíos logísticos en la última milla pueden enfocarse en los siguientes aspectos:

- Complejidad geográfica: la entrega de productos en la última milla puede implicar la navegación a través de áreas urbanas densamente pobladas, zonas rurales remotas y entornos geográficamente difíciles de alcanzar, lo que puede aumentar la complejidad logística y los costos asociados.
- Variabilidad en la demanda: La demanda de productos puede variar significativamente en diferentes momentos y ubicaciones, lo que dificulta la planificación y la gestión eficiente de las rutas de entrega y los niveles de inventario en la última milla.
- Tiempo de entrega: los clientes suelen tener expectativas cada vez mayores en cuanto a los tiempos de entrega, lo que aumenta la presión sobre las empresas para cumplir con plazos de entrega ajustados y ofrecer opciones de entrega rápida, como la entrega en el mismo día o en horas específicas.
- Costos operativos: los costos asociados con la última milla, incluidos los de transporte, mano de obra, tecnología y gestión de devoluciones, pueden ser significativamente más altos en comparación con otras etapas de la cadena de suministro, lo que puede afectar la rentabilidad de las operaciones.
- Sostenibilidad ambiental: la entrega en la última milla puede tener un impacto significativo en el medio ambiente debido a las emisiones de carbono asociadas con el transporte de mercancías. La reducción de la huella de carbono y la adopción de prácticas de entrega sostenibles son desafíos importantes en este sentido. (Ballou, 2004)

El objetivo del presente trabajo es realizar una revisión bibliográfica que permita obtener una comprensión profunda y completa de los diversos aspectos relacionados con la última milla en el sector de productos frescos frutihortícolas.

2. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para el presente estudio consistió en una revisión bibliográfica a través de un análisis bibliométrico en distintas bases de datos, que permitió realizar la presentación de una serie de indicadores tanto de calidad como de cantidad, para llegar a las conclusiones del estudio.

2.1. Indicadores Bibliométricos

Los indicadores bibliométricos proporcionan información sobre los resultados del proceso investigado, su volumen, evolución, visibilidad y estructura. Así permiten valorar la actividad científica, y la influencia o impacto tanto del trabajo como de las fuentes. (de Medeiros, 2015)

Según la literatura, los indicadores bibliométricos se pueden clasificar en dos grandes grupos: indicadores de actividad e indicadores de impacto. (Aleixandre-Benavent, 2019)

Por un lado, los indicadores de actividad científica permiten visualizar el estado real de la ciencia y dentro de ellos se encuentran:

- Número y distribución de publicaciones: miden el número total de publicaciones por instituciones y su distribución.
- Productividad: número de trabajos por autor, revista o institución.
- Dispersión de las publicaciones: análisis de las publicaciones sobre un tema o área entre las diversas fuentes de información. Permite descubrir núcleos de autores o revistas.
- Colaboración en las publicaciones: índice de firmas por trabajo, empleado para determinar la actividad y cooperación científica entre grupos de científicos o instituciones.

Por otro lado, los indicadores de impacto están orientados a valorar el impacto de autores, trabajos o revistas.

Según (Spinak, 2001) conviene subrayar que las técnicas bibliométricas son importantes porque:

- Identifican las tendencias y el crecimiento del conocimiento en las distintas disciplinas.
- Estiman la cobertura de las revistas secundarias.
- Identifican autores y tendencias en distintas disciplinas.
- Miden la utilidad de los servicios de diseminación selectiva de información.
- Predicen las tendencias de publicación.
- Identifican las revistas núcleo de cada disciplina.
- Formulan políticas de adquisición ajustadas al presupuesto.
- Adaptan políticas de descarte de publicaciones.
- Estudian la dispersión y la obsolescencia de la literatura científica.
- Diseñan procesos automáticos de indización, clasificación y confección de resúmenes.
- Predicen la productividad de editores, autores individuales, organizaciones, países.

Por otra parte, los indicadores bibliométricos presentan también un conjunto de limitaciones en su aplicación y utilización. Por ejemplo, sólo se pueden utilizar en aquellos contextos en que los resultados de investigación dan lugar a publicaciones científicas. Por este motivo, su validez es destacada en el estudio de las áreas básicas, pero de menor relevancia en áreas tecnológicas o aplicadas. (Velasco, 2012).

En otro sentido, es importante destacar que en la literatura aparecen otros tipos de indicadores bibliométricos, conocidos como: (1) de cantidad (miden la productividad), (2) de calidad (miden el impacto) y (3) estructurales (miden las conexiones). (Montoya Restrepo, 2016)

En este punto, se debe agregar que la existencia de varios indicadores para estos estudios se debe a que es recomendable hacer las mediciones bibliométricas a través de varios indicadores, en lugar de usar sólo uno.

Los indicadores de cantidad y calidad, definidos en la literatura como:

- Indicadores de cantidad: son los encargados de medir la productividad de un investigador, revista o institución en términos del número de publicaciones; por ello, los indicadores número de publicaciones y número de publicaciones en las mejores revistas del campo, son de gran uso en la literatura como indicadores de cantidad.
- Indicadores de calidad: son usados comúnmente porque están orientados a medir la frecuencia con que una publicación, un autor o una revista, son citados por otras publicaciones (número de citaciones). Estos indicadores pueden ser divididos entre el número de años que ha transcurrido desde que la publicación tuvo lugar, para obtener el número promedio de citaciones por año.

En la tabla 1 se muestran las bases que se utilizaron en el presente trabajo y las palabras claves utilizadas en cada una de ellas.

Tabla1: bases de búsqueda y palabras clave. Elaboración propia

	BASE	**PALABRAS CLAVE**
1	Carrot 2	*fresh fruits and vegetables supply chain*
2	Engineering Village	*last mile or logistic and fresh products and perishable products*
3	Dimensions	*last mile and logistic and fresh fruits vegetables*
4	Publish or Perish	*last mile and logistics and perishable products and fresh products*

3. RESULTADOS

En esta sección se muestran los hallazgos encontrados en las distintas bases de datos que se utilizaron. Debido a la falta de acceso institucional a la base de datos *Scopu*s en la Facultad de Ingeniería, UNMDP, se ha visto limitada la posibilidad de utilizar esta plataforma para la revisión y análisis de literatura académica en el presente estudio. *Scopus*, siendo una de las bases de datos más reconocidas a nivel internacional por su amplitud y rigor en la indexación de publicaciones científicas, hubiera permitido un análisis más exhaustivo y preciso. Sin embargo, la ausencia de esta herramienta nos ha obligado a recurrir a bases de datos alternativas, las cuales, aunque robustas, no ofrecen la misma cobertura y diversidad de fuentes que *Scopus*. Esta limitación ha influido en el alcance de la revisión bibliográfica, condicionando la representatividad y profundidad del análisis.

3.1. Primera búsqueda

Se utilizó Carrot2, un motor de búsqueda y agrupamiento de código abierto que organiza los hallazgos de una consulta en grupos significativos. Este software es especialmente valioso porque clasifica los resultados en categorías temáticas, lo que permite acceder a la información relevante de manera más rápida y eficiente al identificar temas y subtemas dentro de los datos obtenidos. Además, Carrot2 ofrece diferentes opciones para visualizar estos grupos, como diagramas de círculo, diagramas de árbol y listas de etiquetas, lo que facilita la interpretación de grandes volúmenes de información.

En la figura 1 se muestran los resultados para las palabras clave: *fresh fruits and vegetables supply chain*. Como puede observarse se obtuvieron 82 documentos agrupados en 28 *clúster*. Los *clústers* que más documentos tienen son: Performance de la Cadena de suministro y Pérdidas y desperdicios, ambos con 10 documentos.

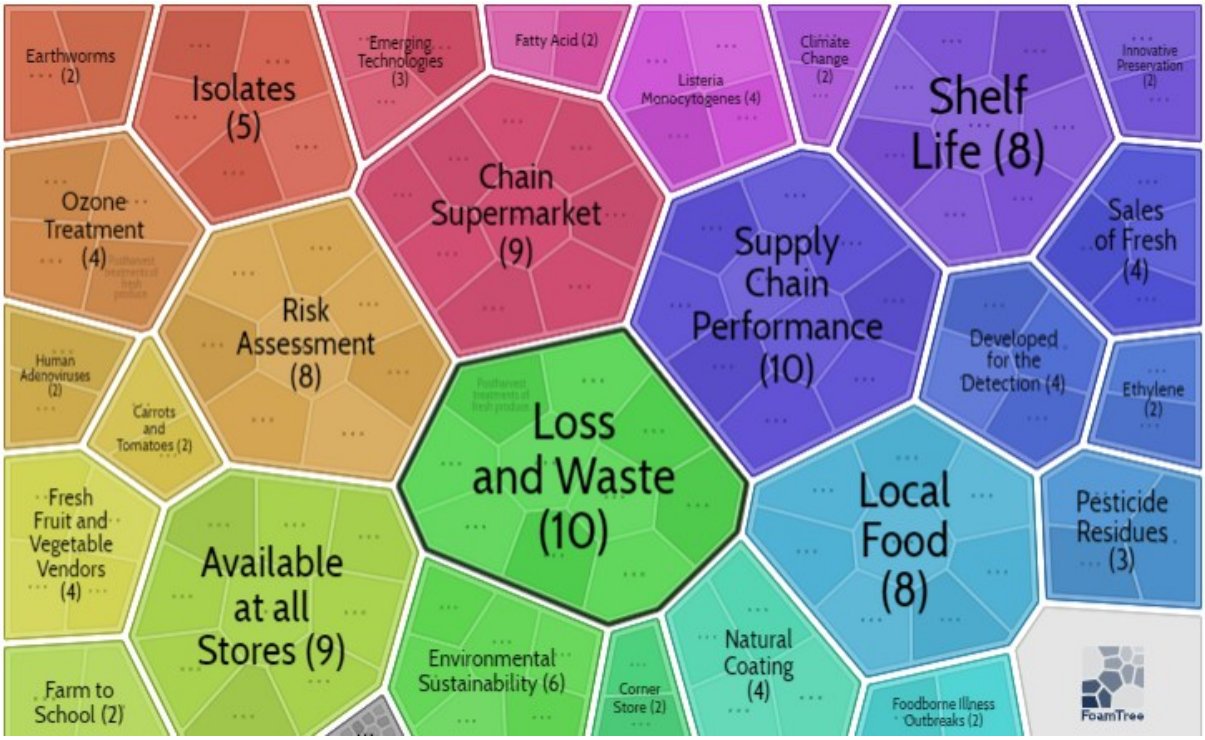


Figura 1: búsqueda en Carrot 2. Elaboración propia

Del *clúster* "Performance de la Cadena de Suministro" se destacan dos documentos:

> **1° Influence of supply chain risk management and its mediating role on supply chain performance: perspectives from an agri-fresh produce. Umair Waqas, Azmawani Abd Rahman, Normaz Wana Ismail, Norazlyn Kamal Basha, Sonia Umair. Ann Oper Res. 2023; 324(1-2):1399-1427. doi: 10.1007/s10479-022-04702-7. Epub 2022 May 5.**

El estudio analiza cómo la gestión de riesgos y del conocimiento influye en la cadena de suministro de pequeños agroempresarios de frutas y hortalizas en Malasia. Usando datos de 430 empresarios, se encontró que la gestión de riesgos reduce los impactos negativos y mejora el desempeño. Además, la gestión del conocimiento modera estas relaciones positivamente.

> **2° Sustainability assessment with structural equation modeling in fresh food supply chain management. Emel Yontar, Süleyman Ersöz Environ Sci Pollut Res Int. 2021 Aug; 28(29):39558-39575. doi: 10.1007/s11356-021-13478-5. Epub 2021 Mar 24.**

El estudio evalúa las dimensiones que afectan la sostenibilidad de la cadena de suministro de frutas y verduras frescas en Turquía, usando SEM (*structural equation modeling*) y AHP (*analytic hierarchy process*). Se midieron cinco dimensiones: gestión de la cadena de suministro, gestión de recursos, seguridad alimentaria, embalaje y gestión de residuos. Se calcularon 26 subcriterios y se determinó que la gestión de la cadena de suministro tiene el mayor desempeño que la gestión de residuos. La puntuación final de sostenibilidad fue de 79,96%. El estudio destaca la importancia de estos parámetros para lograr una alimentación más sostenible.

Del *clúster* "Pérdidas y desperdicios" se destacan:

> **Technological innovations enhance postharvest fresh food resilience from a supply chain perspective. Jinjin Huang 1 2, Min Zhang 1 3, Arun S Mujumdar 4, Yamei Ma 5. Review Crit Rev Food Sci Nutr . 2023 Jul 6:1-23. doi: 10.1080/10408398.2023.2232464.**

Los alimentos frescos son nutritivos pero estacionales, perecederos y difíciles de almacenar sin perder calidad. Las limitaciones en las tecnologías de conservación causan pérdidas en la cadena de suministro. Con el aumento de la conciencia sobre la salud, se investigan tecnologías inteligentes, eficientes y no destructivas. Esta revisión resume el cambio de calidad postcosecha de frutas, verduras, carnes y productos acuáticos, y analiza tecnologías emergentes como campos eléctricos, magnéticos, electromagnéticos, plasma, nanotecnología, envases en atmósfera modificada y recubrimientos

biológicos. Evalúa beneficios y desventajas, y sugiere mejorar la cadena de suministro de alimentos para reducir pérdidas y aumentar la resiliencia.

Los documentos hallados en el *clúster*: pérdidas y desperdicios se enfocan en aspectos tales como el poder de mercado y pérdida de alimentos en la interfaz productor-minorista; propuestas de soluciones de base biológica para reducir la pérdida y el desperdicio de frutas y verduras frescas; progresos en aplicaciones en el desarrollo de recubrimientos para envases de alimentos sostenibles y el monitoreo de parámetros ambientales en cadenas de suministro de frutas y verduras frescas mediante tecnología de comunicación y sensores habilitados por Internet de las cosas.

3.2. Segunda búsqueda.

Se realiza en *Engineering Village* es una base de datos ofrecida por Elsevier y se utilizan las siguientes palabras clave: *last mile or logistic and fresh products and perishable products*. Se obtienen 6212 documentos.

Para afinar la cantidad de documentos se filtra por años, tomando el período 2018-2024 y por documentos publicados en *Journals*. Esta búsqueda refinada arroja un resultado de 1422 documentos.

Como indicador de cantidad se presenta la figura 2 con las publicaciones sobre la temática en el periodo seleccionado. Se puede observar una clara tendencia creciente en el número de publicaciones.

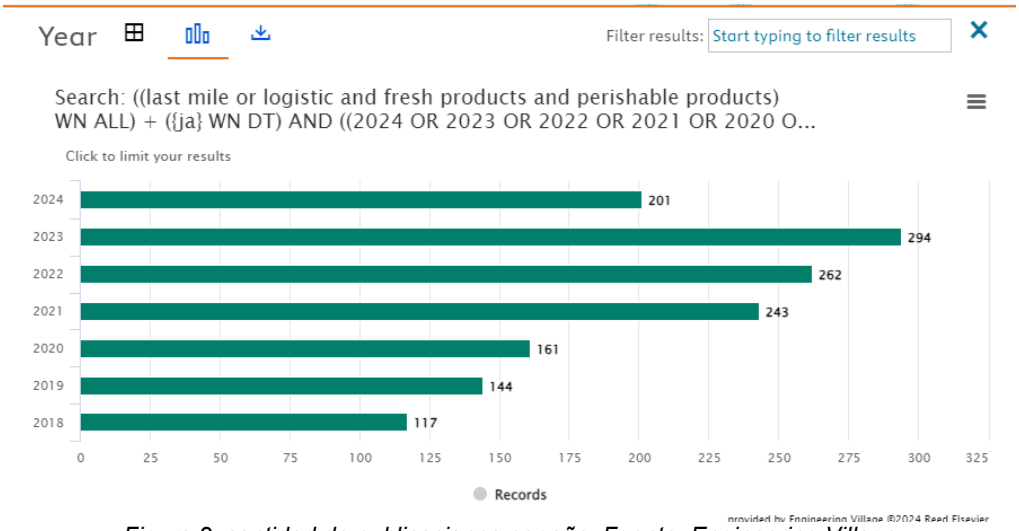


Figura 2: cantidad de publicaciones por año. Fuente: Engineering Village

Para obtener una búsqueda más concisa, se filtra por "*controlled vocabulary*", es decir, descriptores que la propia base destina para definir los contenidos de sus artículos. Se obtiene ahora 505 resultados que se muestran en la figura 3. Lo que se observa es que estos descriptores no coinciden con las palabras clave que originan la búsqueda por lo que los artículos encontrados no serían muy significativos para el estudio del tema propuesto, dado que el mayor número se enfoca en problemas de ruteo.

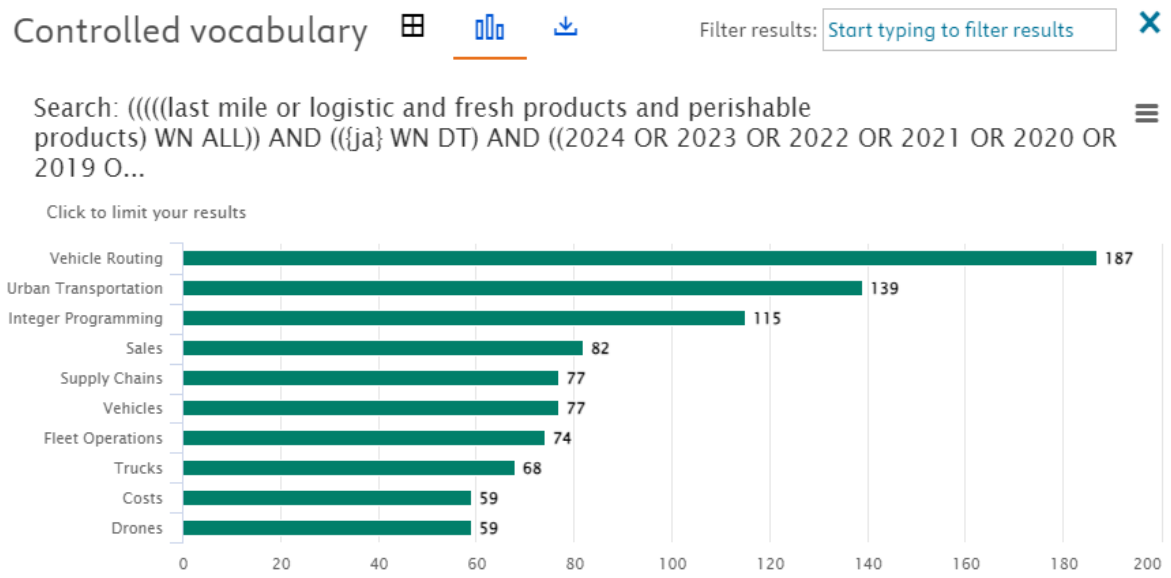


Figura 3: cantidad de publicaciones por descriptor. Fuente: Engineering Village

El ruteo en la logística de última milla es crucial para la eficiencia de las cadenas de suministro de productos frutihortícolas frescos. En este contexto se convierte en un factor determinante para asegurar que los productos lleguen a su destino en las mejores condiciones posibles. Los productos frescos, debido a su naturaleza perecedera, requieren una entrega rápida y eficiente para mantener su calidad y frescura. Un ruteo optimizado minimiza el tiempo de tránsito, lo cual es esencial para evitar el deterioro de frutas y verduras. (Galarcio, 2017).

Por otra parte, la eficiencia en el ruteo contribuye a reducir los costos operativos, ya que permite el uso óptimo de los recursos, como el combustible y el tiempo del personal. Por otra parte, los consumidores actuales demandan entregas rápidas y precisas, y cualquier retraso puede resultar en la recepción de productos en mal estado, afectando negativamente la experiencia del cliente y la reputación del proveedor. Además, un ruteo eficiente tiene un impacto positivo en el medio ambiente. Al optimizar las rutas de entrega, se reduce el consumo de combustible y las emisiones de carbono, contribuyendo a prácticas más sostenibles y responsables. (Gobertti, 2024)

De estos artículos se destacan los más recientes pero, aunque tratan el tema de última milla, son escasas las referencias a la cadena de productos frutihortícolas o productos frescos perecederos. Se citan 2 artículos a modo de ejemplo.

> **1° An exact method for a last-mile delivery routing problem with multiple deliverymen. Senna, Fernando (Industrial Engineering Department, Federal University of São Carlos, Brazil); Coelho, Leandro C.; Morabito, Reinaldo; Munari, Pedro Source: European Journal of Operational Research, v 317, n 2, p 550-562, September 1, 2024**

El estudio aborda la eficiencia en la entrega de última milla mediante vehículos con múltiples repartidores atendiendo a varios clientes en una sola parada. Se amplía el problema de rutas de vehículos con ventanas de tiempo, considerando rutas de repartidores. Se desarrolla un algoritmo de Benders para resolverlo, logrando optimización en el 89% de los casos, mejorando costos, congestión y emisiones. (Senna, Coelho, Morabito, & Munari, 2024)

> **2° Unravelling the last-mile conundrum: A comparative study of autonomous delivery robots, delivery bicycles, and light commercial vehicles in 14 varied European landscapes. Garus, Ada (European Commission - Joint Research Centre, Via E. Fermi, 2749 – 21027, VA, Ispra, Italy); Christidis, Panayotis; Mourtzouchou, Andromachi; Duboz, Louison; Ciuffo, Biagio Source: Sustainable Cities and Society, v 108, August 1, 2024**

Este estudio evalúa la eficiencia de modos de transporte en el comercio electrónico usando datos reales. Se analiza el rendimiento de vehículos comerciales ligeros, bicicletas de carga y robots de reparto autónomos mediante la API de Google y OR-Tools. Se concluye que los robots son eficientes en áreas de tráfico limitado y las bicicletas en centros urbanos densos. La investigación subraya la necesidad de adaptar el transporte a características urbanas específicas para mejorar la eficiencia y satisfacción del consumidor. (Garus, Christidis, Mourtzouchou, Duboz, & Ciuffo, 2024)

3.3. Tercera búsqueda

Dimensions es una plataforma de investigación y bases de datos que reúne información de diversas fuentes. Proporciona acceso no sólo a artículos científicos sino también a patentes, datos de investigación y ofrece herramientas para analizar tendencias y patrones en la investigación.

Se utilizaron las siguientes palabras clave: *supply chain last mile*. Se restringió la búsqueda a los años 2018 -2024 para tomar el período anterior y posterior a la pandemia de COVID 19. Se obtienen 5193 resultados.

Un primer análisis se realiza con *VOSviewer* que se muestra en la figura 4. Como la búsqueda es realmente muy abarcativa, en el análisis se eliminaron todos los términos relacionados a áreas de salud para que prevalecieran los enfocados en cadena de suministro y logística de productos agroindustriales y alimentos frescos.

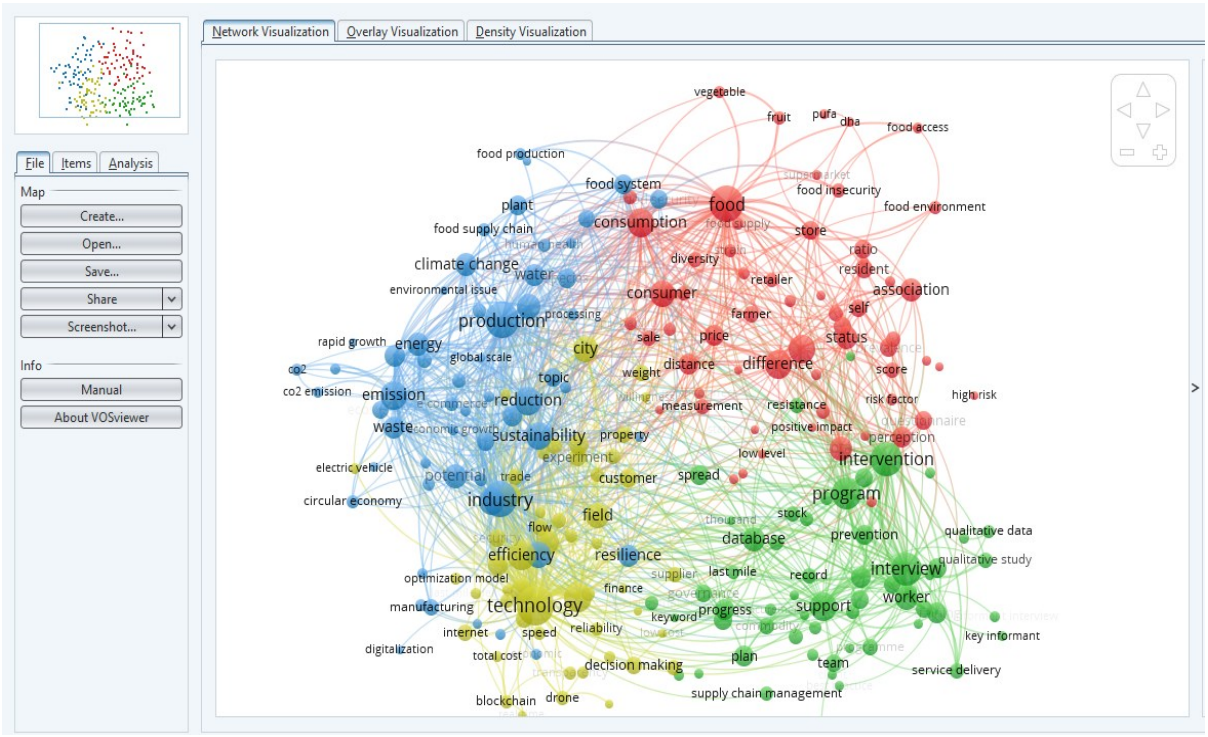


Figura 4: publicaciones Base Dimension. Fuente: VOSviewer

Para afinar la búsqueda se restringe la misma a al campo *"Horticultural Production*" manteniendo las palabras clave *supply chain y last mile*. De esta forma se obtienen 326 publicaciones.

Repitiendo la búsqueda en ese mismo campo de producción hortícola, pero sumando a las palabras clave los términos Logística y Alimentos Frescos se obtienen 81 publicaciones. En la figura 5 se muestran las publicaciones por año.

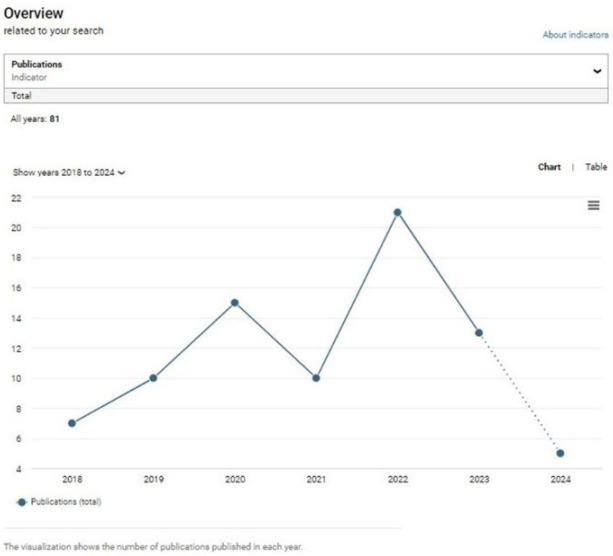


Figura 5: número de publicaciones por año para las palabras clave: supply chain-last mile- logistics- fresh food. Fuente: Dimensions

De acuerdo con la figura 5, el número de publicaciones fue creciente en los años 2018-2019-2020, muestra un descenso en 2021, vuelve a crecer en 2022 pero cayó nuevamente en 2023.

Por otra parte, si se realiza la misma búsqueda con iguales palabras claves sólo en *"Title and abstract"* no se obtiene ninguna publicación. Esto podría significar que los términos de búsqueda utilizados son demasiado específicos o restrictivos y también que el tema de investigación de la última milla para productos frescos o productos frutihortícolas es de estudio reciente, por lo que aún hay poca literatura disponible que lo aborde directamente en los títulos o resúmenes de las publicaciones.

3.4. Cuarta búsqueda. Se realiza en *ScienceDirect* que es una base de datos de Elsevier que proporciona acceso a textos completos, revisados por pares, de revistas científicas, capítulos de libros y otros contenidos.

En este caso las palabras clave son: *supply chains – fresh food –logistics*. El resultado de esta búsqueda arroja 80937 publicaciones. Haciendo una revisión de los títulos de las 100 primeras, ordenadas por orden de relevancia, so observa que en 84 de ellos aparecen las palabras *fresh food* y *supply chain.*

Para acotar el número de publicaciones se aplican los siguientes filtros de búsqueda:

- Por años: entre 2018 y 2024

  2024 (4,455)

  2023 (4,763)

  2022 (4,520)

  2021 (4,003)

  2020 (2,959)

  2019 (2,755)

  2018 (2,406)

- Por áreas temáticas (*Subject areas*)
  - *Agricultural and Biological Sciences (*15,865*)*
  - *Environmental Science (*9,734)
  - *Engineering* (2,308)
- Por título de la publicación *(publication title*)
  - *Science of The Total Environment* (1,251)

- *Journal of Cleaner Production* (1,197)
- *Food Chemistry* (1,143)
- *Food Control* (586)
- *Food Research Interna*tional (541)

Se obtienen de esta manera 4718 publicaciones para su análisis.

Se destaca en especial el artículo de los autores Miguel Peinado-Guerrero y Rene Villalobos que plantea el desarrollo de una plataforma de planificación de cadenas de suministro de respuesta rápida para frutas y verduras frescas por su relación directa con el tema de estudio del presente trabajo.

> ***Technology-enabled, Rapid-Response Fresh Food Supply Chains: A Paradigm and Case Study. Food Research International. Transportation Research Procedia.*** (2022) Miguel Peinado-Guerrero J. Rene Villalobos.

El artículo ofrece una descripción general de los diferentes componentes que conforman una visión del entorno integrado y presenta un estudio de caso que ilustra la formación de coaliciones de pequeños productores para capturar una oportunidad de mercado utilizando algunas de las herramientas de apoyo a la toma de decisiones de *Terra-fresh. Terra-fresh* significa Cadenas de Suministro Frescas de Respuesta Rápida y Basadas en Tecnología. Es un entorno integrado de planificación, análisis y coordinación que busca explotar las nuevas realidades tecnológicas de la cadena de suministro de productos agrícolas frescos. (Peinado-Guerrero & Villalobos, 2022)

> ***Integrating product-focused life cycle perspectives in the fresh food supply chain: Revealing intra- and inter-organizational views.Integrating product-focused life cycle perspectives in the fresh food supply chain: Revealing intra- and inter-organizational views. Sustainable Production and Consumption.*** (2024) Sara Toniolo. Ivan Russo. Ilenia Bravo.

Los productos alimenticios perecederos generan importantes residuos y consumen una gran cantidad de energía debido a los requisitos de mantenimiento de calidad y seguridad. El objetivo principal de este estudio es mostrar cómo cada actor en la cadena de suministro de alimentos frescos puede reducir su impacto ambiental utilizando una perspectiva del ciclo de vida. Las acciones se pueden traducir en tres dimensiones: tecnológica, relacionada con el uso de tecnologías eficientes y optimizadas; operativo, relacionado con la reducción de materia prima, consumo de materiales, configuraciones de distribución y mejora de cultivos y gestión, relacionados con seguimiento, objetivos de mejora y configuraciones de la cadena de suministro local. (Toniolo, Russo, & Bravo, 2022)

> ***What value does blockchain bring to the imported fresh food supply chain? . Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review September*** (2022). Shuai Liu Guowei HuaYadong Xu.

Durante la pandemia de COVID-19, *blockchain* se ha utilizado ampliamente para rastrear información sobre alimentos frescos desde el origen hasta el destino. Motivados por observaciones de la práctica del mundo real, el estudio aborda el papel que desempeñaba *blockchain* en las cadenas de suministro de alimentos frescos. Primero desarrolla los modelos básicos para examinar los casos sin y con *blockchain*. Luego, deriva las decisiones de precios óptimas para la cadena de suministro y las condiciones bajo las cuales el uso de *blockchai*n era rentable en cada modelo. Para evaluar la solidez de los resultados, analiza cómo las actitudes ante el riesgo afectaron las decisiones óptimas de la cadena de suministro. (Guowei & HuaYadong Xu, 2022)

> ***Sales mode selection of fresh food supply chain based on blockchain technology under different channel competition. Computers & Industrial Engineering December*** **(**2021). Yuhong Liu Deqing Ma Ziyi Zhang.

En la era de las nuevas tecnologías, las plataformas de comercio electrónico (E-platform) han ido abriendo sucesivamente el mercado de alimentos frescos, por lo que es inevitable que se enfrenten al problema de la selección del modo de venta. Este estudio considera la disponibilidad de trazabilidad habilitada por *blockchain* y la frescura del producto, con el objetivo de explorar si la plataforma

electrónica elige la reventa o la venta por agencia de alimentos frescos en competencia con diferentes minoristas tradicionales. (Deqing & Zhang., 2021)

> ***Microforecasting methods for fresh food supply chain management: A computational study. Mathematics and Computers in Simulation***. (2018). G. Dellino T. Laudadio C. Meloni.

El estudio aborda el problema de la previsión de ventas de productos frescos y altamente perecederos, en el contexto general de la gestión de la cadena de suministro. Se empleó un conjunto de datos reales basados en 19 tiendas pequeñas y medianas y 156 productos frescos para evaluar tanto la calidad de los resultados de la previsión como sus efectos en la actividad de planificación de pedidos, donde la previsión de ventas se considera como un indicador de la demanda esperada. Los datos se utilizaron como entrada para un algoritmo de pronóstico diseñado para ser interactivo con el usuario. Se implementan tres métodos de pronóstico: ARIMA, ARIMAX y modelos de función de transferencia. (Meloni., 2018)

Dado el gran número de publicaciones existentes en el tema *food logistis* y *supply chain*, se analizaron los perfiles de los diez investigadores de *Scholar Google* con mayor número de publicaciones en el tema. Se encuentra que tres de ellos desarrollan sus actividades de investigación en centros de Estados Unidos, uno en Colombia y los seis restantes en países de Europa. Los resultados se muestran en la figura 6.

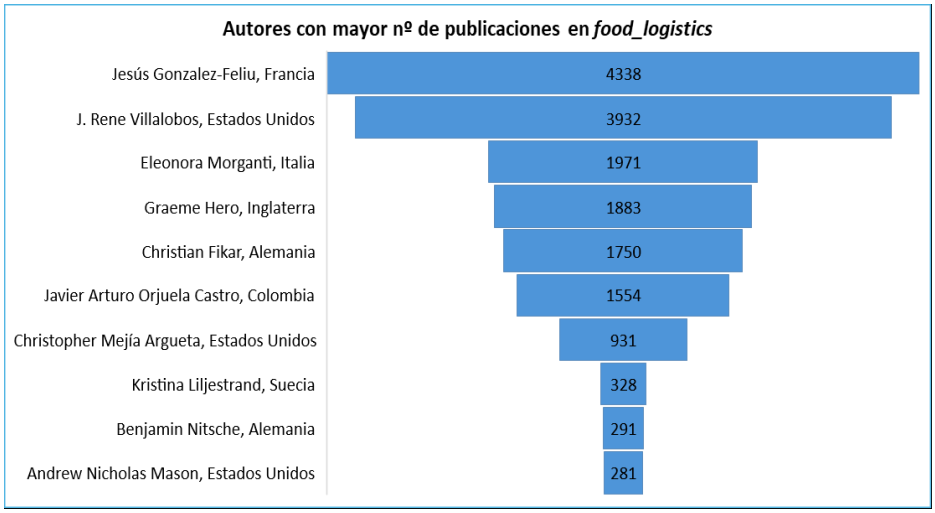


Figura 6: Número de publicaciones por autor y su país de procedencia. Fuente: Elaboración propia

Las publicaciones científicas en *food-logistics* son abarcativas de las investigaciones de la cadena de suministro de productos frescos frutihortícolas porque ambas comparten objetivos y desafíos clave. La logística alimentaria se centra en optimizar la eficiencia, reducir pérdidas y asegurar la calidad de los productos durante su transporte y almacenamiento, aspectos críticos también en la gestión de frutas y verduras frescas. Además, los productos frutihortícolas, al ser perecederos, requieren estrategias logísticas específicas que se desarrollan a través de investigaciones más generales en *food-logistics*. (Portugal, 2023)

Dada la escasez de publicaciones específicas sobre última milla de productos frescos frutihortícolas, la búsqueda en logística de alimentos permite acceder a publicaciones con conocimientos y soluciones innovadoras que podrían aplicarse a las particularidades de su cadena de suministro y logística.

4. CONCLUSIONES

La revisión de la literatura sobre la logística de última milla en la cadena de suministro de productos frescos frutihortícolas revela varias tendencias y desafíos clave. En primer lugar, la mayoría publicaciones provienen de países desarrollados, donde se investiga ampliamente el uso de tecnologías avanzadas y soluciones innovadoras. En contraste, hay una notable escasez de estudios centrados en las cadenas de suministro de Latinoamérica, lo que destaca una importante laguna en la literatura.

Los problemas de ruteo son especialmente complejos en megaciudades debido a la alta densidad de población, el tráfico congestionado y la diversidad de los entornos urbanos. Estas dificultades requieren soluciones sofisticadas para asegurar la entrega puntual y eficiente de productos perecederos. Además, se ha observado el desarrollo de múltiples opciones de transporte, como vehículos eléctricos, bicicletas de carga y drones, que se están explorando para mejorar la eficiencia de la última milla y reducir el impacto ambiental.

Las implicaciones prácticas de estos hallazgos sugieren que las empresas deben considerar la implementación de tecnologías avanzadas y diversificar sus modos de transporte para enfrentar los desafíos específicos de las megaciudades. Sin embargo, la falta de estudios en contextos latinoamericanos indica la necesidad urgente de investigaciones futuras que aborden las particularidades de esta región, incluyendo la infraestructura, las políticas y los comportamientos de los consumidores.

Adicionalmente, los modelos matemáticos de pronóstico juegan un papel crucial en la optimización de la cadena de suministro, permitiendo prever demandas y ajustar las operaciones en consecuencia. La tecnología *blockchai*n emerge como una solución prometedora para mejorar la transparencia y la trazabilidad a lo largo de la cadena de suministro, asegurando la autenticidad y la calidad de los productos frescos. No obstante, la generación de residuos y el consumo de energía son áreas críticas que requieren atención. Las estrategias para minimizar los residuos y optimizar el uso de energía deben ser integrales en los sistemas de logística de última milla para alcanzar una sostenibilidad real. La incorporación de estas tecnologías y enfoques sostenibles es esencial para enfrentar los desafíos actuales y futuros en la cadena de suministro de productos frutihortícolas frescos.

La falta de estudios en contextos latinoamericanos indica la necesidad urgente de investigaciones futuras que aborden las particularidades de esta región, incluyendo la infraestructura, las políticas y los comportamientos de los consumidores.

5. BIBLIOGRAFIA

Adarme Jaimes, W. A. (2014). Comportamientos logísticos en la distribución de última milla de productos alimenticios en Villavicencio, Colombia. *Revista EIA*, (21), 145-156.

Akkad, M. Z. (2022). Energy efficiency optimization of lastmile supply system with reverse logistics consideration. *Acta logistica*, 9(3): 315-323.

Aleixandre-Benavent, R. G.-T.-L. (2019). Análisis Bibliométrico de la Aplicación de Proyectos con PERT y CPM en la Agricultura. *Revista UTCiencia: i-ISSN: 1390-6909. e-ISSN: 2602-8263*, 6(3), 172-179.

Ballou, R. (2004). *Logística.* Mexico: Pearson Education.

de Medeiros, I. L. (2015). Revisão Sistemática e Bibliometria facilitadas por um Canvas para visualização de informação. *InfoDesign-Revista Brasileira de Design da Informação*, 12(1), 93-110.

Deqing, Y. L., & Zhang., M. Z. (2021). Sales mode selection of fresh food supply chain based on blockchain technology under different channel competition. *Computers & Industrial Engineering*.

Galarcio, J. D. (2017). Una nueva metaheurística aplicada al problema de ruteo de vehículos capacitados (cvrp) para la distribución de productos perecederos. *Ingeniería e Innovación, 5(1).*

Garus, A., Christidis, P., Mourtzouchou, A., Duboz, L., & Ciuffo, B. (2024). Unravelling the last-mile conundrum: A comparative study of autonomous delivery robots, delivery bicycles, and light commercial vehicles in 14 varied European landscapes. *Sustainable Cities and Society*, v 108.

Gobertti, F. H. (2024). Algoritmos de optimización para secuenciación adaptativa de rutas reales en entregas de última milla. Ingenius. . *Revista de Ciencia y Tecnología*, (31), 64-80.

Guowei, S. L., & HuaYadong Xu. (2022). What value does blockchain bring to the imported fresh food supply chain? *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*.

Meloni., G. D. (2018). Microforecasting methods for fresh food supply chain management: A computational study. *Mathematics and Computers in Simulation*.

Montoya Restrepo, I. V. (2016). Mapeo del campo de conocimiento en intenciones emprendedoras mediante el análisis de redes sociales de conocimiento. . *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 24(2), 337-350.

Orjuela-Castro, J. O.-C.-J. (2013). Logística de última milla en megaciudades para frutas perecederas. *Revista de Ingeniería y Gestión Industrial*, 12(2), 318-327.

Peinado-Guerrero, M. J., & Villalobos, R. (2022). Technology-enabled, Rapid-Response Fresh Food Supply Chains: A Paradigm and Case Study. *Food Research International. Transportation Research Procedia*.

Portugal, P. A. (2023). Diagnóstico de Indicadores Logísticos en Pymes de Distribución de Frutas y Hortalizas en Chiriquí, Panamá. *Revista Internacional de Gestión del Conocimiento y la Tecnología*, (2), 119-137.

Senna, F., Coelho, L. C., Morabito, R., & Munari, P. (2024). An exact method for a last-mile delivery routing problem with multiple deliverymen. *European Journal of Operational Research*, v 317, n 2, p 550-562.

Spinak, E. (2001). Indicadores cienciométricos. *Acimed*, 9, 16-18.

Toniolo, S., Russo, I., & Bravo, l. (2022). Integrating product-focused life cycle perspectives in the fresh food supply chain: Revealing intra- and inter-organizational views. *Sustainable Production and Consumption*.

Velasco, B. B. (2012). La utilización de los indicadores bibliométricos para evaluar la actividad investigadora. *Aula abierta*, 40(2), 75-84.

"Modelo de Reducción de Costos Ocultos de la Mala Calidad por Técnica de Contraste de Costos Variables - Abordaje para el Ámbito Manufactura del Sector PyME-"

Noguera, Luciana; Cavacini, Antonella Soledad; Sacco, Alfonso Víctor

Facultad de Ingeniería, Universidad del Salvador
l.noguera@usal.edu.ar; antonella.cavacini@usal.edu.ar alsacco@usal.edu.ar;

RESUMEN

En el sector de las Pequeñas y Medianas Empresas (PyME) existe una constante búsqueda de técnicas tendientes a mejorar el desempeño y la competitividad con la intención de atraer clientes, comprendiendo que para ello se deben reducir fallas, defectos y desvíos.

Sin embargo, tanto las herramientas de Gestión de la Calidad como las técnicas para reducir los Costos de No Calidad son poco utilizadas, y los programas de mejora decaen antes de alcanzar su madurez, debido en parte a la falta de claridad de qué medir, qué mejorar y cómo hacerlo.

Se evidencia que existe un problema subestimado que lo identificamos como Costos Ocultos, por el cual se consideran aceptables ciertos resultados que deben ser optimizados, generando ineficiencias en los procesos productivos, lo que se refleja en un superfluo empleo de recursos. Por ello, se propone definir y formular una herramienta que permita visualizar y medir esta clase de Costos de la Mala Calidad, que suelen pasar inadvertidos dentro de los Costos Variables de Producción.

El presente trabajo incorporará un esquema de contraste de Costos Variables, considerando Costos Históricos, Planificados y Resultantes, basados en el Consumo Estándar Unitario de los recursos empleados en los procesos productivos.

Se analizará la literatura que trata al respecto, determinando su aplicabilidad a la realidad de las PyMEs en Argentina, y propondrá una herramienta de simple aplicación que facilite la medición y el control de los Costos Ocultos con el objeto de reducir su cuantía, o de llegar a anularlos, cuando sea posible.

Palabras Claves: COPQ (Costo de la Mala Calidad) - HCQ (Costo Oculto de la Calidad) - PyME (Pequeña y Mediana Empresa) - CI (Mejora Continua) - Costos Variables.

ABSTRACT

In the SME sector there is a constant search for techniques aimed at improving performance and competitiveness with the intention of attracting customers, understanding that to do so, failures, defects and deviations must be reduced.

However, both Quality Management tools and techniques to reduce Non-Quality Costs are little used, and improvement programs decline before reaching maturity, due in part to the lack of clarity of what to measure, what improve and how to do it.

It is evident that there is an underestimated problem that we identify as Hidden Costs, for which certain results that must be optimized are considered acceptable, generating inefficiencies in production processes, which is reflected in a superfluous use of resources. Therefore, it is proposed to define and formulate a tool that allows visualizing and measuring this type of Costs of Poor Quality, which usually go unnoticed within the Variable Production Costs.

The work will incorporate a contrast scheme of Variable Costs, considering Historical, Planned and Resulting Costs, based on the Standard Unitary Consumption of the resources used in the production processes.

The presentation will analyze the literature on this matter, determine its applicability to the SME reality in Argentina, and propose a simple application tool that facilitates the measurement and control of Hidden Costs with the aim of reducing their amount, or even canceling them, when it is possible.

Keywords: COPQ (Cost of Poor Quality) - HCQ (Hidden Cost of Quality) - SMEs (Small and Medium Enterprises) - CI (Continuous Improvement) - Variable Costs.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación de la Investigación

La industria manufacturera en Argentina está marcada por la presencia dominante de Pequeñas y Medianas Empresas (PyMEs), las cuales desempeñan un papel crucial en la economía del país. Estas PyMEs representan un porcentaje significativo del sector empresarial argentino, ya que constituyen el 98% del total de las firmas empleadoras, alcanzando alrededor del 50% de los asalariados registrados (Anatilde Salerno , 2023). Es fundamental reconocer su valor e importancia, ya que su actividad impacta directamente en la vida cotidiana de las personas, la estabilidad y el crecimiento económico del país.

Sin embargo, las PyMEs manufactureras se enfrentan a desafíos considerables, especialmente en lo que respecta a la competitividad y la rentabilidad. Uno de los retos más destacados radica en la calidad de los productos que se ofrecen y en sus costos asociados. En un mercado cada vez más exigente y competitivo, la calidad se convierte en un diferenciador clave para las empresas, tanto en términos de satisfacción del cliente como de rentabilidad.

Dentro del contexto de este sector de empresas, existe un problema latente y muchas veces subestimado: los costos ocultos de la mala calidad. Estos costos, que suelen pasar desapercibidos, se derivan de ineficiencias en los procesos de producción resultando de un empleo vano y excesivo de recursos, como los son la materia prima, la mano de obra directa, los insumos, la energía, y los gastos indirectos de fabricación, entre otros.

Es esencial identificar y cuantificar estos costos ocultos para implementar medidas correctivas y mejorar la eficiencia operativa de las PyMEs. En este sentido, surge la necesidad de desarrollar una metodología de simple implementación que permita, primero identificar esos costos ocultos, para luego poder medirlos.

La investigación se concentrará en medir las fluctuaciones de los Costos Variables de producción y en establecer parámetros de control para poder aproximarlos a costos más eficientes, que denominaremos Costos Estándares como objetivo de Mejora Continua (CI) a lograr. Esta metodología será adaptada al contexto de la PyME, donde los recursos son limitados y la simplicidad es clave para su aplicación efectiva.

1.2 Objetivo de la investigación

El presente trabajo se enfoca en el estudio de una categoría específica de Costos Ocultos de la Mala Calidad (COPQ), los cuales surgen como consecuencia de ineficiencias en el empleo de los recursos productivos y en inestables procesos de manufactura. Con frecuencia estos malgastos se aprecian relacionados con el sobre consumo de medios e insumos productivos, tales como materia prima, mano de obra directa, energía; o con interrupciones en la producción, sobrantes de inventario, transporte con capacidad subutilizada, manipulación innecesaria, entre otros. Debido a su naturaleza incierta, es esencial exponer y cuantificar estos gastos para posteriormente implementar un plan de acción dirigido a su optimización.

El objetivo principal de nuestra investigación será estudiar cómo visibilizar y reducir estos costos que impactan directamente en la supervivencia del negocio, mediante la identificación de desviaciones y la distinción entre resultados satisfactorios y aquellos que deben ser mejorados. Este enfoque busca incrementar el valor percibido por el cliente y mejorar la competitividad de las PyMEs en la industria manufacturera argentina.

En función de investigaciones anteriores que han sido llevadas a cabo por nuestro Equipo de Trabajo, se ha verificado que los Costos Ocultos más relevantes pueden ser apreciados sobre el Costo Unitario resultante que conlleva la puesta en venta de cada artículo producido. Lo que resulta de dividir los Costos Totales incurridos entre la cantidad resultante producida.

Este Costo Unitario, se compone de Costos Fijos y Costos Variables, nuestra investigación se enfocará específicamente sobre el análisis de estos últimos, que son aquellos costos que cambian en proporción directa con el nivel de producción o la cantidad de bienes producidos. Es decir, que la concentración se pondrá sobre la parte del Coste que se replica en forma cuasi constante sobre cada unidad producida.

En este sentido se ha previsto emplear la técnica de Contraste de Costos Variables, que facilitará una clara identificación de los Costos Ocultos para luego poder actuar sobre ellos. Se establecerá una metodología de base sólida para la implementación de estrategias de mejora, que se fundará en la

medición y comparación de los costos resultantes o actuales con los costos más eficientes y posibles de ser alcanzados, los que necesitan previamente ser calculados, establecidos y adoptados.

Mediante la adopción de este enfoque proactivo para identificar primero y reducir luego, este tipo particular de Costos de la Mala Calidad (COPQ), se espera contribuir al crecimiento y la sostenibilidad de las PyMEs en la industria manufacturera argentina.

1.3 Metodología

Para desarrollar el Modelo, se propone utilizar la metodología de investigación-acción. Esta metodología combina la producción de conocimiento con la implementación de cambios intencionales en una realidad específica.

Se adopta el proceso de investigación-acción (Diana Paravié, 2020) como un enfoque participativo en el que el equipo de investigación trabajó de manera colaborativa con los miembros de la organización objetivo para abordar problemas y desarrollar soluciones prácticas.

El método se basa en un ciclo de aprendizaje continuo que incluye la reflexión crítica, siendo clave para entender los desafíos y oportunidades dentro del contexto organizacional y para guiar las acciones futuras, facilitando el cambio y la mejora continua

En síntesis, la metodología incluye la siguiente secuencia recurrente de pasos: diagnóstico, recolección de información, análisis de datos, planeamiento, implementación de acciones, evaluación y mantenimiento o monitoreo.

1.4 Justificación del Estudio

1.4.1 Importancia del sector PyME en Argentina

El sector PyME desempeña un rol fundamental en el desarrollo y crecimiento de la economía argentina. Su importancia parte de varios aspectos fundamentales que impulsan no sólo el crecimiento económico, sino también el desarrollo social y regional del país.

En primer lugar, son responsables de una gran parte de la creación de empleo y a su vez contribuyen significativamente a la innovación y competitividad en el mercado. Su flexibilidad y adaptabilidad les permiten introducir nuevos productos y servicios, lo que fomenta la competencia y la actualización constante de procesos tecnológicos. Esta innovación es vital para el progreso económico y la creación de productos de alto valor añadido.

Por otra parte, las PyMEs promueven el desarrollo de las economías regionales, ya que están presentes en todos los sectores productivos, incluyendo la industria manufacturera, la distribución y los servicios. La importancia económica y social de las PyMEs justifica la realización de estudios que profundicen en el conocimiento de estas empresas y en su gestión (Gatti, 2009).

Las PyMEs no solo contribuyen a la economía nacional al generar empleo y promover la innovación, sino que también facilitan patrones de funcionamiento más inclusivos y equitativos a nivel social y regional. Es entonces que por su relevancia requiere una mayor atención de todas las partes interesadas como las agencias gubernamentales y las empresas multinacionales, para maximizar su potencial y su impacto positivo en la sociedad.

1.4.2 Industria Manufacturera

La industria manufacturera se dedica a la transformación de materias primas en productos elaborados o semielaborados mediante procesos que pueden ser manuales, mecanizados o automatizados, utilizando habilidades y tecnologías desarrolladas en el pasado y adoptadas por los individuos a lo largo del tiempo.

Las empresas manufactureras han existido desde los siglos XVI y XVII, cuando la actividad fabril se centraba en pocos productos y se realizaba de forma manual. Con los descubrimientos y avances de la Revolución Industrial, se comenzaron a utilizar máquinas especializadas, lo que permitió la evolución de pequeños talleres artesanales en verdaderas fábricas concentradas de productos, tecnologías y procesos específicos, conformando lo que conocemos como el desarrollo del sector industrial.

En la actualidad, las empresas manufactureras tienden a ubicarse cerca de los consumidores de sus productos para abaratar los costos de distribución. Asimismo, suelen estar cerca de las fuentes de mano de obra, lo que les permite minimizar los costos de producción. Estas estrategias de ubicación y operación son fundamentales para la eficiencia y competitividad de estas organizaciones.

Estudiaremos puntualmente la participación de las PyMEs en la industria manufacturera, evaluando cómo optimizan sus procesos y gestionan sus recursos para mejorar su rentabilidad y sostenibilidad en el mercado argentino.

1.4.3 Evolución de la Contabilidad de Costos y su Importancia en la Gestión Empresarial

Desde la revolución industrial, diversos procesos se han automatizado, inicialmente impulsados por la introducción de máquinas de vapor y telares textiles. Estos avances transformaron talleres artesanales y pequeñas empresas en industrias más complejas y productivas.

El crecimiento de las fábricas, junto con los avances tecnológicos y la diversidad de productos y servicios, impulsó la necesidad de contabilizar los costos de producción. Esta práctica se volvió crucial para demostrar la rentabilidad de las operaciones frente a los dueños y accionistas. Además, conocer el patrimonio actual de la empresa permitía tomar decisiones informadas sobre la incorporación de nuevos activos o el pago de pasivos existentes.

En este contexto, surge la contabilidad de costos, aplicable a cualquier tipo de industria, que se funda en la formulación de procedimientos claros para la gestión de información y la generación de informes de balances y de estados de resultados. Estos informes permiten analizar las pérdidas y ganancias netas, y transmitir esta información a los inversores de manera precisa.

En un mercado en constante cambio, la gestión de costos se convierte en la base para una estrategia de sostenibilidad de las PyMEs. Mediante el registro y análisis de los costos, las empresas pueden identificar los procesos que generan mayores gastos sin agregar valor al producto. Esto facilita la optimización de los recursos invertidos, orientando las inversiones hacia la generación de rentabilidad.

La gestión eficiente de costos no solo contribuye a la sostenibilidad y el crecimiento de las PyMEs, sino que también fortalece su competitividad en el mercado. Al identificar y reducir costos innecesarios, las empresas pueden mejorar su eficiencia operativa y ofrecer productos de mayor calidad a precios competitivos, lo que es esencial para su éxito a largo plazo.

2. DESARROLLO

2.1 Hipótesis Adoptadas

En el contexto de las PyMEs en Argentina se han observado ciertos desafíos recurrentes que impiden la implementación y el éxito sostenido de programas de Mejora Continua (CI) basados en herramientas de gestión de calidad. Estas dificultades suelen estar asociadas a varios factores:

- Expectativas de Resultados Inmediatos: La tendencia a esperar resultados rápidos, puede llevar a la frustración y, en muchos casos, provoca el abandono prematuro de los programas de mejora.
- Complejidad Metodológica: Existe una percepción generalizada de que las metodologías de mejora continua son complejas y difíciles de aplicar, lo que disuade a las empresas de adoptarlas, especialmente en organizaciones de gran estructura.
- Falta de Enfoque y Sostenibilidad: La falta de un plan claro y sostenido para la mejora continua, incluyendo cómo, dónde y qué medir, conduce a esfuerzos dispersos y a menudo ineficaces.
- Cultura Organizacional Resistente: En muchas PyMEs prevalece una cultura que minimiza o normaliza el impacto de los costos ocultos de la mala calidad (COPQ), lo que se verifica como resistencia al cambio, siendo típica la frase "*siempre lo hicimos así*...". Por lo que se dificulta la adopción de medidas para reducirlos o eliminarlos.
- Identificación Incompleta de Costos Ocultos: La falta de visibilidad y de identificación precisa de los costos ocultos (HQC) impide que se tomen acciones correctivas efectivas.

Se observó que numerosas PyMEs en Argentina presentan una escasa adopción de herramientas de gestión de calidad, enfocándose en una gestión reactiva que pone mayor énfasis en resolver problemas inmediatos en lugar de estrategias de mejora continua, lo que limita su crecimiento y competitividad.

Se infiere que las fallas en la implementación o el abandono prematuro de programas de Mejora Continua (CI) se deben principalmente a la falta de un esquema adecuado de medición de los beneficios y a la ausencia de un plan claro que permita visualizar los avances logrados. Además, se aprecia una virtual desconexión entre las iniciativas de mejora que se llevan a cabo y los objetivos estratégicos de la empresa, lo cual contribuye a la percepción de cierta ineficiencia en el empleo de los recursos productivos.

Para contrarrestar estas limitaciones y fomentar la adopción de herramientas de Mejora Continua (CI), se sugiere la adopción de un marco metodológico que contemple las siguientes iniciativas:

- Implementación Gradual y Estratégica de Programas de CI: Un enfoque secuencial permite introducir cambios de manera progresiva facilitando la adaptación y evitando expectativas irreales. Además, la planificación en fases y alineación con objetivos estratégicos garantiza resultados tangibles.
- Definición de Metas Específicas y Medibles: Establecer objetivos claros permite monitorear el progreso de manera efectiva, facilita la identificación de áreas de mejora y promueve el compromiso del equipo al mostrar avances concretos.
- Medición de Variables Clave: Utilizar Indicadores Clave de Desempeño (KPIs) y tableros de control para monitorear y ajustar estrategias basadas en datos en tiempo real.
- Identificación de Costos Ocultos (HQC) mediante el contraste de Costos Variables: Desarrollar y aplicar un modelo de contraste de costos variables que se focalice en el consumo especifico de recursos durante el proceso productivo. Comparando el Consumo Estándar Unitario (CEU) con el Consumo Resultante Unitario (CRU) se podrán detectar, ineficiencias que estén contribuyendo a los costos ocultos y por ende implementar estrategias correctivas para optimizar el empleo de los recursos productivos.

2.2 Abordaje Conceptual

La administración eficaz de una empresa implica, entre otros procesos, la planificación estratégica de sus operaciones para alcanzar los objetivos establecidos ya sea en términos de utilidades deseadas o niveles de ventas a alcanzar. Estos objetivos están estrechamente relacionados con la optimización de los recursos utilizados en la producción de los artículos ofrecidos.

En este contexto, es fundamental reconocer que menores costos se traducen en mayores ventas y utilidades, mientras que costos más altos pueden impactar negativamente en la rentabilidad. Por lo tanto, el objetivo global de todos los empleados de la empresa debe ser producir con la mejor calidad posible y con la mínima utilización de recursos.

En este sentido, se deben identificar dos aspectos clave que requieren gestión para obtener una ventaja competitiva a través de sus resultados. Ellos son los Costos de la Calidad con su impacto en la cualidad y características del producto; y los Costos Variables por su impacto en competitividad y facilidad de obtención. Estos aspectos no solo afectan la rentabilidad de la empresa, sino también su capacidad para satisfacer a los clientes y ganar mercados.

2.3 Costos de la Calidad

Los costos de la calidad son una medida de los costos asociados con el logro o no del resultado requerido de una actividad, entendiendo que estos costos pueden verse desde dos perspectivas principales: la economía de la calidad del producto final y la economía de la conformidad con los estándares establecidos.

Una alta calidad en los procedimientos, procesos, materiales de entrada, recursos humanos y gestión conlleva a una disminución de los costos generales. En este sentido, la calidad debe ser intrínseca desde el principio, es decir, "*hacerlo bien a la primera*" promoviendo la prevención de problemas y la maximización del valor percibido por el cliente (Crosby, 1979).

Así el costo de calidad se puede dividir en dos aspectos diferenciados: a) el costo de buena calidad ó el costo de conformidad, y b) el costo de mala calidad ó el costo de no conformidad (Figura 1 “Categorías de Costo de Calidad”).

2.3.1 Costos de Buena Calidad

Dentro de estos costos se incluyen todos los gastos relacionados con alcanzar, mantener y mejorar la calidad de los productos (Elif Ocakci, 2021). Se subdividen en dos tipos:

- **Costos de Evaluación:** Comprenden los gastos de pruebas (incluyendo costos de equipos de inspección y prueba, y operadores), medición y análisis de materiales, productos y componentes para asegurar que se cumplan las especificaciones y estándares de calidad.
- **Costos de Prevención:** Incluyen todos los costos asociados con la implementación de medidas preventivas para evitar defectos en cualquier proceso o producto. Estos gastos abarcan la planificación de la calidad, el diseño del producto, la capacitación, así como la recuperación y gestión de información.

2.3.2 Costos de Mala Calidad

Estos se relacionan con los costos derivados de no cumplir con los estándares de calidad y pueden ser internos o externos:

- **Costos de Fallas Internas:** Ocurren antes de la entrega o envío del producto y abarcan el desperdicio, retrabajo, análisis de fallas, re-inspección, pruebas y pérdidas de producción evitables.
- **Costos de Fallas Externas:** Se producen después de la entrega y durante o después de la prestación del servicio al cliente, e incluyen garantías, gestión de reclamos de clientes y devoluciones de productos o asignaciones.

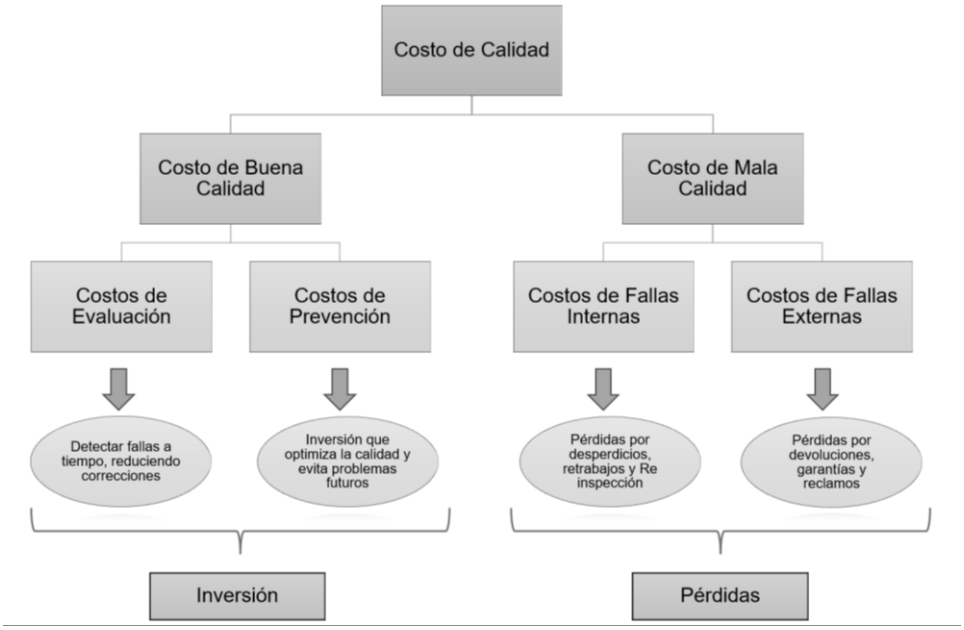


Figura 1 Categorías de Costo de Calidad

Invertir en costos de prevención y evaluación mejora significativamente la calidad de los productos y servicios (Shank, 1994). Al aumentar estos costos, se reducen los costos asociados a fallas internas y externas, lo que resulta en un equilibrio óptimo en la gestión de calidad. Esta perspectiva estratégica muestra que un gasto adecuado en la prevención de defectos y en la evaluación de la calidad no solo minimiza los errores y los productos defectuosos, sino que también optimiza el rendimiento económico al evitar gastos innecesarios derivados de correcciones y reclamos.

2.4 Costos Variables

Los Costos Variables (CV) son aquella categoría de costos que varían en función del nivel de producción, y vienen dados por la cantidad de mano de obra (MO) empleada, la materia prima (MP) utilizada y los gastos indirectos de fabricación asociados. A diferencia de los costos fijos, que permanecen constantes independientemente del volumen de producción, los costos variables fluctúan en proporción al nivel de actividad de la empresa o del proceso productivo.

Estos Costos Variables están compuestos por dos aspectos principales (Sacco, López, & Cavacini, 2023):

- **Precio de la Unidad de Medida del Recurso/Insumo:** Este componente se refiere al costo unitario de la materia prima, la mano de obra directa u otros recursos adquiridos para la producción. Por ejemplo, en el caso de la materia prima, este costo se establece en función de la unidad de medida con la que se administra y se compra el material, como kilogramo, litro, tonelada, entre otros. Para la mano de obra directa, el precio unitario puede determinarse según el costo horario del trabajador, considerando todas las contribuciones que correspondan. La gestión de estos costos está influenciada por circunstancias externas a la organización y por el poder de negociación del ente para acceder a los recursos necesarios a precios competitivos.
- **Consumo Específico de Recurso/Insumo:** Este componente se refiere a la cantidad específica de la unidad de medida (como kilogramos, metros, horas) que se requiere para producir un artículo. Por ejemplo, en el caso de la materia prima, el consumo específico se define como la cantidad de unidades de medida necesarias por artículo producido (por ejemplo, kilogramos de material por

unidad de producto). Para la mano de obra directa, el consumo específico se refiere al tiempo requerido para producir un artículo (por ejemplo, horas por unidad de producto).

2.5 Confluencia de Costos

Tanto los Costos de la Calidad, que afectan a la cualidad de desempeño del producto, como los Costos Variables, que afectan a la economía de obtención del producto, son fundamentales para el estímulo y sostenibilidad del negocio, ya que la confluencia de ambos Costos permite maximizar el Valor Percibido por los clientes, medido en términos de satisfacción lograda y costo monetario resultante. Cuando el Valor Percibido supera el precio pagado resultará en Satisfacción/Agrado que indica asignación de valor positivo a la transacción, resultando que se ha logrado lo mejor para el cliente y por ende lo mejor para la empresa también.

La falta de calidad en un producto puede generar costos adicionales tanto para los productores como para los clientes, y estos costos pueden ser significativos como para ignorarlos, especialmente en mercados competitivos. Medir el costo de calidad en términos monetarios permite a una organización evaluar el uso de sus recursos para mitigar los efectos adversos de sus procesos deficientes. Esta información puede ayudar a una organización a identificar los ahorros potenciales que se pueden generar mediante la mejora de sus procesos.

Por lo tanto, la medición y gestión de ambos costos resulta es una herramienta útil y valiosa para mejorar el resultado de los procesos, con su enfoque en la satisfacción del cliente, atendiendo tanto a la prestación del producto como a la economía para su obtención.

2.6 Contabilidad de Costos

La contabilidad de costos es una técnica utilizada para analizar las actividades internas de una organización mediante procedimientos específicos, proporcionando información detallada sobre los recursos empleados. Esta técnica permite registrar las transacciones internas relacionadas directamente con las operaciones del área de producción. Su función principal es recopilar y contabilizar información sobre las operaciones de transformación de insumos en bienes o servicios, facilitando así una gestión precisa y eficiente de los costos asociados (Casanova-Villalba, Macias-Loor, Proaño-González, & Ruiz-López, 2023) (Chacón, 2007) y (Mishell, 2016).

2.7 Desarrollo del Modelo de Reducción de Costos Ocultos

2.7.1 Orígenes de los Costos Ocultos

La identificación y clasificación de los Costos Ocultos de la Mala Calidad es fundamental para entender su impacto en el ámbito PyME manufacturero. En general, se observa que se asumen como normales ciertos resultados, simplemente por la dificultad que entraña la cabal identificación de los Costos Ocultos asociados. Por lo cual, estos desempeños son considerados aceptables, ya sea porque han sido normalizados ó porque responden a la consigna "*siempre lo hemos hecho así y no ha habido inconvenientes*".

A continuación, se describen en forma no taxativa las principales causas que originan estos tipos de Costos Ocultos discriminados por actividades / procesos típicos en una industria de manufactura:

- **Proceso de Recepción y Almacenamiento de Materia Prima (AL)**

- Calidad Deficiente de Materiales: Cuando los proveedores entregan materiales que no cumplen con las especificaciones requeridas, se generan costos adicionales por rechazos, devoluciones o retrabajos. Este problema no solo afecta la calidad del producto final, sino también la eficiencia del proceso productivo.
- Errores en Cantidades: Pedidos incorrectos o faltantes de materiales pueden desorganizar la planificación de la producción, resultando en tiempos de inactividad y aumento de los costos operativos.
- Costos de Proveedores No Confiables: Seleccionar proveedores con problemas de calidad o cumplimiento puede incrementar los costos de inspección y control, así como afectar la programación de producción debido a entregas tardías.
- Recepción Defectuosa: Materiales dañados o mal etiquetados al ser recibidos generan costos adicionales para su manejo y posible reposición.
- Condiciones de Almacenamiento Inadecuadas: Almacenar materiales en condiciones inapropiadas (humedad, temperatura) puede deteriorar su calidad, llevando a desperdicios y pérdidas.
- Errores en el Registro de Inventarios: Inexactitudes en los registros de inventarios provocan discrepancias y faltantes que pueden interrumpir la producción y generar costos adicionales de auditoría y corrección.

- Daños durante el Transporte Interno: Los materiales pueden sufrir daños durante su traslado dentro de la planta, lo que implica costos adicionales de manejo y posibles retrabajos.
- Retrasos en el Transporte Interno: Interrupciones en el flujo de producción debido a tiempos de espera prolongados afectan la eficiencia y productividad de la planta.

- **Proceso de Fabricación (FA)**
- Fallas en el Proceso de Producción: Los defectos en la producción generan desperdicio y retrabajo, implicando costos adicionales de mano de obra, materiales y tiempo de máquina.
- Equipos Mal Calibrados: La producción de productos fuera de especificación debido a problemas con los equipos requiere retrabajos y ajustes, generando costos adicionales.
- Capacitación Inadecuada del Personal: Errores y defectos causados por personal no capacitado adecuadamente aumentan los costos de producción y afectan la calidad del producto final.
- Problemas de Mantenimiento: Fallas en los equipos no programadas provocan interrupciones y costos adicionales de reparación y mantenimiento.
- Consumo Ineficiente de Mano de Obra y Suministros: Procesos ineficientes conducen a un uso excesivo de recursos, aumentando los costos operativos.
- Desperdicio de Material: Materiales que no se pueden reutilizar debido a defectos de producción representan una pérdida directa para la empresa.

- **Proceso Manipuleo y Almacenamiento de Producto Terminado (PT)**
- Daños durante el Transporte al Almacén de Producto Terminado: Productos dañados durante el traslado interno resultan en costos adicionales de manejo y posible retrabajo.
- Errores en la Documentación: Problemas de trazabilidad y errores en la identificación de productos terminados (etiquetado) generan costos adicionales de corrección y manejo.
- Deterioro del Producto: La pérdida de calidad del producto debido a condiciones de almacenamiento inadecuadas lleva a desperdicio y posibles devoluciones.
- Obsolescencia: Productos que pierden valor o utilidad por almacenamiento prolongado representan una pérdida directa para la empresa.
- Exceso de Inventario: Mantener grandes cantidades de inventario genera costos adicionales de almacenamiento y financiamiento.

- **Proceso de Transporte, Distribución y Ventas (TV)**
- Daños durante el Transporte: Productos dañados durante el transporte a almacenes o clientes resultan en costos adicionales de manejo y posibles devoluciones.
- Retrasos en la Entrega: Retrasos en la entrega afectan negativamente la satisfacción del cliente y pueden llevar a penalizaciones contractuales.
- Errores en el Pedido: Envíos incorrectos o incompletos generan costos adicionales de manejo y posibles pérdidas de ventas.

2.7.2 Análisis de relevancia de los Costos Ocultos

De acuerdo con su comportamiento vinculado con el nivel de actividad, los costos se clasifican en Fijos y Variables, mientras los primeros disminuyen en la asignación unitaria a cada artículo producido, los segundos permanecen constantes para cada nuevo artículo elaborado. Es decir, que independientemente del nivel de actividad, dentro de un rango determinado, el impacto de los Costos Variables en el Costo Unitario de cada artículo marginal se mantiene constante.

De lo anterior, se infiere que la principal fuente causante de Costos Ocultos está relacionada con la gestión de los Costos Variables. Todas las fallas, errores, defectos, deficiencias, pérdidas, daños, desperdicios, retrabajos, etc. tienen su impacto en el incremento del Costo Variable Unitario de Producción. Si no se toma conciencia y se actúa en consecuencia, estos costos no sólo permanecerán ocultos es su valor, sino que tenderán a aumentar con el tiempo, restando mayor competitividad al negocio.

El Costo Variable Unitario (CVU) de Producción puede entenderse tanto desde una perspectiva contable, con su resultado expresado en términos monetarios, como desde un punto de vista más operativo, que lo considera como la sumatoria del Consumo Específico de Recurso Variable (que interviene en el proceso de elaboración / producción de cada artículo puesto en venta) expresado en su Unidad de Medida (UM) de adquisición, elaboración y/o administración (kilogramos, metros cuadrados, horas máquina, horas hombre, metros lineales, litros, unidades, etc.).

Por ejemplo, para el caso de Materia Prima (MP), se define como la cantidad necesaria para producir y colocar a la venta cada artículo producido; para el Caso de Mano de Obra Directa (MOD) se define como el tiempo requerido para lograr tal cometido. Lo vital no resulta ser tanto la cantidad de MP

empleada efectivamente en cada artículo puesto a la venta, sino la relación existente entre el total de MP que ha sido consumida y la cantidad de artículos puestos en condición de venta.

Un artículo puede contener una determinada cantidad medida de MP, cumpliendo con la especificación; sin embargo, el verdadero interés del productor debería centrarse en encontrar respuesta a la pregunta: ¿Cuánta MP total se ha consumido para producir ese artículo? (considerando en un periodo de tiempo la variación total de inventario y la cantidad total de artículos colocados a la venta). Aquí es donde radica el secreto para alcanzar la competitividad mediante la eficiencia productiva y la reducción de costos.

En la Figura 2 “Control Cruzado de Inventarios para Establecer Consumos Resultantes” se aprecia un esquema representativo de las actividades donde se originan costos ocultos, los que deben ser identificados y medidos por discrepancia de inventarios empleando técnicas de controles cruzados entre periodos de tiempo, donde se hacen cierres de inventario de cada actividad y se verifican los consumos reales o resultantes de cada recurso de productivo.

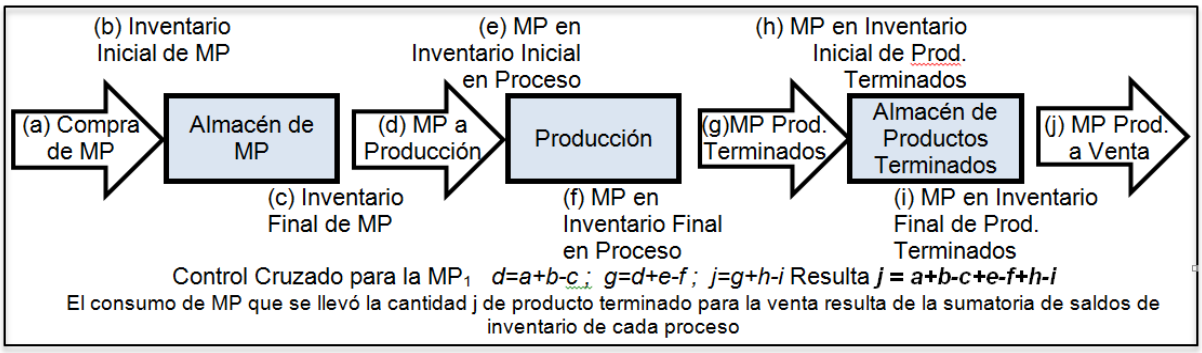


Figura 2 Control Cruzado de Inventarios para Establecer Consumos Resultantes

Los consumos unitarios específicos de recursos están ligados directamente con la eficiencia de los procesos productivos, para controlarlos se hace necesario identificarlos, medirlos y contrastarlos convenientemente en base a la obtención del denominado Consumo Estándar Unitario (CEU).

La determinación del CEU se fundamenta en la aplicación de estudios metodológicos y precisos de métodos, tiempos y estado del arte, generando mediciones rigurosas, pero al mismo tiempo posibles de alcanzar a un ritmo de actividad normal. Estas buscan mejorar la eficiencia y el desempeño, tanto en lo relacionado con los empleos de la MOD y de la MP, como en lo que hace al tratamiento de los Costos Variables correspondientes a Gastos Indirectos de Fabricación (energía, repuestos, insumos, mantenimiento, mano de obra indirecta de producción, etc.).

Establecer el costo estándar y reducir las deficiencias en el área de producción de la empresa implica la participación de los operarios mejor capacitados, y con la mayor experiencia y conocimiento tanto de los procesos de producción y las diferentes operaciones que en ellos se involucran, como del manejo de los materiales, la distribución física de las instalaciones, el mantenimiento de la maquinaria y equipos, la capacitación y adiestramiento, entre otros aspectos.

Para cada una de las actividades que se desarrollan en la empresa se deberá cuestionar cómo y cuándo se hacen, quiénes las deben realizar, dónde, con qué y por qué es necesario llevar a cabo estas acciones. Luego se deben considerar las opciones disponibles, técnica y económicamente, para adoptar aquella que optimice los consumos y mejore el desempeño.

Una vez obtenido los CEU, que será el horizonte establecido de mejora y optimización a alcanzar, se deberán medir los resultados que se están alcanzando mediante la aplicación de la denominada Técnica de Contraste de Costos Variables que consiste en cotejar los Consumos Resultantes Unitarios (CRU) con el del Estándar objetivo establecido para cada recurso productivo.

2.7.3 Modelo de Desagregación y Medición de Costos Ocultos

Una vez identificados los orígenes de los costos ocultos de la mala calidad, y establecido el Consumo Estándar Unitario (CEU) para cada recurso productivo, se puede medir el Consumo Resultante Unitario (CRU) al final del proceso productivo. El contraste entre el CEU y CRU permite identificar desvíos en el uso de recursos, pero no revela las causas subyacentes. Para ello, se introduce el Coeficiente Admitido de Desempeño (CAD), que mide la eficiencia en cada etapa del proceso, cuantificando las mermas aceptables y orientando las acciones correctivas.

La Figura 3 muestra una representación de las actividades que fueron desagregadas previamente en el apartado de orígenes de los costos ocultos. Esta tabla incluye los CADs para la Materia Prima x (MPx) correspondientes a cada actividad o instancia del proceso, proporcionando una visión detallada de cómo los diferentes factores afectan el desempeño de los recursos empleados en el proceso.

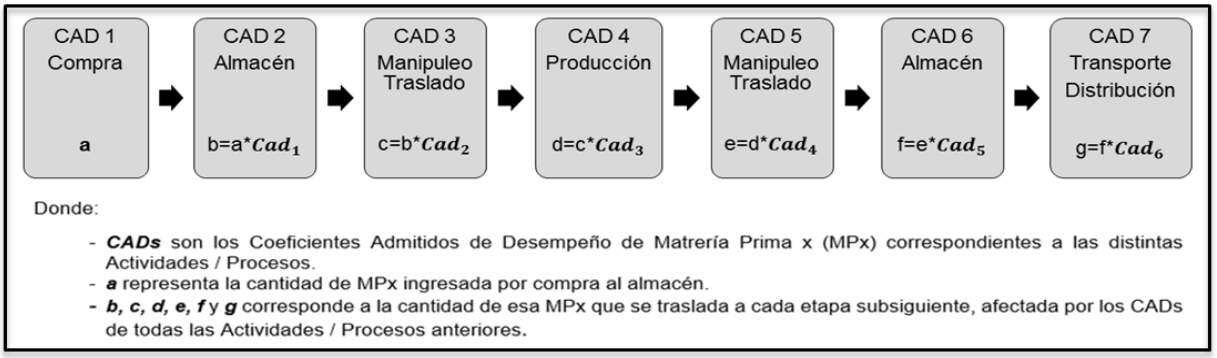


Figura 3 Aplicación de Coeficiente Admitido de Desempeño para detectar causas de Ineficiencias para la MPx

Del cuadro se desprende, que por ejemplo la cantidad "d" de MPx que ingresa efectivamente a producción, está afectada por las mermas admitidas que se encuentran asociadas a actividades previas como la Compra (Cad 1), Almacenamiento (Cad 2) y Manipuleo y Traslado (Cad 3). Este comportamiento se refleja según la Ecuación (1):

$$d = c * Cad3 = b * Cad2 * Cad3 = a * Cad1 * Cad2 * Cad3 \quad (1)$$

Si tomamos una condición inusual, donde los CADs de los procesos anteriores al de Producción no admiten merma de ningún tipo, es decir, tienen un valor de 1, entonces el 100% del material ingresado por Compra debería llegar intacto a la etapa de Producción.

Sin embargo, en condiciones reales, debe admitirse la aceptación de mermas relacionadas a los distintos procesos. Si consideramos una degradación del 0,1% en el proceso de almacenamiento (sin mermas admitidas para la Compra y el Manipuleo/Traslado), el CAD correspondiente sería de 0,99. Esto implica que la relación entre la cantidad proveniente del Proceso de Compra de MP1 y lo efectivamente disponible para el Proceso siguiente de Fabricación se encuentre representado por la Ecuación (2):

$$MP1_{producción} = MP1_{almacén} * CAD\ 99{,}9\% \quad (2)$$

Dónde:

- $MP1_{Producción}$ es la cantidad de MP tipo 1 que pasa al proceso de Fabricación.
- $MP1_{Almacen}$ es la cantidad de esa MP que entró oportunamente al Almacén.
- $CAD_{99,9\ \%}$ es el Coeficiente Admitido de Desempeño calculado para la MP1 que es del 99,9%, es decir, que se admite un 0,1% de merma / derroche.

Teniendo definidos los Coeficientes de Desempeño de cada Recurso Variable para cada Etapa del Proceso de Producción, simplemente luego habrá que contrastarlos con los rendimientos resultantes mediante el empleo de indicadores de gestión.

Es decir, que una vez establecidos los Consumos Estándar mediante los Coeficientes de Desempeño Admitidos (CADs), e identificados los orígenes de lo que hemos llamado Costos Ocultos de la Mala Calidad, es esencial poder establecer las estrategias necesarias para encarar la reducción de los mismos, adoptando e implementado la citada metodología en un formato ágil y de simple aplicación.

Para analizar críticamente las pérdidas más significativas en los consumos de recursos de producción, es esencial utilizar herramientas que faciliten la toma de decisiones basadas en datos concretos, para ello concentraremos los esfuerzos definiendo los Factores Clave de Éxito (CSF) mediante la aplicación del principio de Pareto, que establece que el 80% de la consecuencias proviene del 20 % de la causas. En nuestro caso podríamos emularlo, entendiendo que el 80% de la magnitud de los Costos Ocultos proviene de un 20 % de las causas generales que los generan.

Una vez identificados los CSF, se podrá establecer la forma de medirlos mediante la instrumentación de los denominados Indicadores Clave de Desempeño ó KPI, los que permitirán conocer las métricas más significativas del desempeño general del negocio.

Todo ello otorgará evidencia a la Gerencia y le asistirá en el proceso de toma de decisiones para optimizar procesos productivos, reducir el consumo específico de recursos productivos, minimizar pérdidas y alinear la operación con los estándares establecidos.

2.8 Caso de Estudio Fábrica de Alfajores - Aplicación del Modelo de Costos Ocultos

2.8.1 Presentación y Planteo de Caso

En el contexto de la industria alimentaria en Argentina, las PyMEs dedicadas a la elaboración de productos de consumo masivo como los alfajores, enfrentan desafíos en la gestión de materias primas y procesos productivos, combinando alta demanda con la necesidad de mantener la calidad y controlar los costos en un entorno competitivo.

Este estudio se enfoca en una PyME que produce un lote diario de 1 millón de alfajores, en la cual se analizan los costos ocultos que impactan en la rentabilidad, pero no son evidentes en los estados financieros. Por lo tanto, se trabajó en la desagregación y medición de tales costos, considerando variables críticas como la gestión eficiente de materias primas, la minimización de desperdicios y el control en las etapas clave del proceso.

Se verificó la aplicación del Modelo de análisis del Consumo Estándar Unitario (CEU) y el Consumo Resultante Unitario (CRU), junto con el Coeficiente Admitido de Desempeño (CAD), cuantificándose las mermas en cada fase del proceso y su impacto en los costos resultantes.

2.8.2 Implementación del Modelo

En la aplicación del Modelo se consideró las Materias Primas principales como harina, azúcar, huevos, manteca, maicena, dulce de leche y chocolate para cobertura. Sin embargo, a efectos de promover la síntesis para este Trabajo se selecciona la harina como recurso específico para ejemplificar el análisis. Con lo cual se podrá ilustrar la aplicación de los CADs y la identificación de Costos Ocultos en la producción de alfajores, sin extenderse a todos los insumos involucrados.

Para la citada producción diaria de 1 millón de alfajores, se estima necesario un total teórico de 20.000 kg de harina a un costo de 1.000 $/kg. Las Etapas del Proceso Analizadas (ver cálculos en Tabla 1) son: Etapa 1 “Recepción y Almacenamiento de Materias Primas”, Etapa 2 “Fabricación de Alfajores”, y Etapa 3 Empaque, Manipuleo y Almacenamiento de Producto Terminado.

ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3	CONSUMOS / COSTOS
CAD_{Etapa1}= 1 No admite ningún tipo de merma	**CAD_{Etapa2}= 0,99** En condiciones normales de operación se admite una pérdida del 1%)	**CAD_{Etapa3}= 0,985** En condiciones normales de operación se admite una pérdida del 1,5%	**Estándar** 20.000 kg x CAD_{Etapa1} x CAD_{Etapa2} x CAD_{Etapa3} 20.000 kg. x 1,0 x 0,99 x 0.985 = **20.510 kg**. Costo Total Previsto: 20.510 kg. x 1.000 $/kg = **$ 20.510.000**
Merma identificada 1% de la harina se pierde en esta etapa debido a factores como deterioro, embalajes rotos, manipulación deficiente, humedad y condiciones inadecuadas de almacenamiento, etc.	Merma identificada 2% adicional se pierde durante la fabricación debido a fallas en la dosificación, mala operación del personal, mezcladoras mal calibradas y tiempos o temperaturas inadecuadas de horneado, etc.	Merma identificada 3 % adicional se pierde debido a fallas de máquinas empaquetadoras, errores en el manipuleo (golpes o caídas), almacenamiento a temperaturas inadecuadas y errores en el etiquetado, etc..	**Resultante** 20.000 kg x $Merma_{Etapa1}$ x $Merma_{Etapa2}$ x $Merma_{Etapa3}$ 20.000 kg. x 0,99 x 0.98 x 0,97 = **21.252 kg.** Costo total Resultante: 21.252 kg. x 1.000 $/kg = **$ 21.252.000**
Costos Ocultos de la Mala Calidad identificados mediante el Modelo de Contraste de Consumos entre el Estándar y el Resultante			**Derroches / Ineficiencias** Consumo Estándar 21.252 kg – Consumo Resultante 20.510 kg = **742 kg**. Costo de la Mala Calidad: 742 kg. x 1.000 $/kg = **$ 742.000**

Tabla 1 Cálculo de Desempeño Caso Fábrica de Alfajores para la Materia Prima Harina

2.8.3 Resultado de la Aplicación del Modelo al Caso Fábrica de Alfajores

Los Costos Ocultos derivados de mermas y desperdicios pueden representar una porción significativa de los Costos Variables, impactando negativamente en la rentabilidad de la empresa. En este Caso se consume un 3,6 % en exceso de harina, resultando en un Costo Oculto diario de $ 742.000, que

mediante la Metodología de Contraste de Costos Variables ahora se encuentra visibilizado pudiéndose actuar sobre ello para lograr su reducción y eventualmente su eliminación..

La implementación del Modelo permitió a la empresa identificar puntos críticos en su proceso productivo, al focalizarse en un insumo específico como la harina, se ilustra cómo las pérdidas en una sola Materia Prima puede tener repercusiones financieras importantes, subrayando la necesidad de gestionar de manera efectiva cada recurso en la cadena de producción.

3. CONCLUSIONES

La gestión eficiente de los Costos Ocultos de la Mala Calidad (COPQ) es un factor decisivo para el desempeño y la sostenibilidad de las PyMEs en Argentina, especialmente en contextos de alta competencia y presión económica. A través de este trabajo, se buscó diseñar y validar un Modelo de Contraste entre el Consumo Estándar Unitario (CEU) y el Consumo Resultante Unitario (CRU), basado en el Coeficiente Admitido de Desempeño (CAD), que no sólo permite identificar y cuantificar los costos ocultos, sino también establecer un camino claro para emprender la mejora continua.

El modelo propuesto no se limita a una aplicación específica, sino que puede adaptarse a distintos procesos productivos y sectores industriales, lo cual representa su mayor potencial. La implementación de este enfoque proporciona a las organizaciones una herramienta concreta para la toma de decisiones informadas, contribuyendo a una mejor gestión de recursos y a la optimización de la cadena de valor. Además, la simplicidad del modelo lo hace particularmente adecuado para las PyMEs que operan con recursos limitados, de forma tal que pueden aplicarlo sin requerir de grandes inversiones.

Este análisis pretende servir como punto de partida para futuros estudios e implementaciones que busquen profundizar en la medición y reducción de los COPQ, fomentando una cultura de mejora continua. Con una correcta adopción de este modelo, las PyMEs pueden fortalecer su competitividad, mejorar su rentabilidad y asegurar una mayor estabilidad en el mercado, incluso en contextos adversos como platea la situación actual.

4. REFERENCIAS

Anatilde Salerno . (2023). Evolución de las PyMEs en Argentina y su Impacto en el Empleo. Buenos Aires: https://ucema.edu.ar/pymes.

Casanova-Villalba, C. I., Macias-Loor, J. M., Proaño-González, E. A., & Ruiz-López, S. E. (2023). Cost accounting and its impacts on SME profitability. Journal of Economic and Social Sciense Research, 14

Chacón, G. (2007). La Contabilidad de Costos, los Sistemas de Control de Gestión y la Rentabilidad Empresarial. Merida: Universidad de los Andes.

Crosby, P. B. (1979). Quality is Free - The Art of Making Quality Certain. New York: McGraw-Hill Book Company.

Diana Paravié, L. S. (2020). Diseño de un Tablero de Control en una PyME Industrial Aplicando la Metodología de Investigación-Acción. Iberoamerican Journal of Indurstrial Engineering, 15.

Elif Ocakci, J. N. (2021). Quality Cost and Economic Analysis. A Synthesis in the Manufacturing Systems. EDP Sciences.

Gatti, S. (2009). La importancia de la calidad y su relación en el desempeño de las PyMEs Industriales de la Argentina. Universidad Nacional de San Martín.

Mishell, M. G. (2016). Costos de producción y su efecto en la rentabilidad de la empresa procesadora de el Oro Promaoro S.A. Machala: Universidad Técnica de Machala.

Sacco, A. V., López, A. M., & Cavacini, A. S. (2023). Modelo para Visualizar Costos Ocultos de la Mala Calidad en Procesos de Mejora Continua en el Ámbito de Manufactura del Sector PyME . XVI COINI 2023.

Shank, J. a. (1994). Measuring the cost of quality: A strategic cost management. Journal of Cost Management.

"PROPUESTA DE SISTEMA DE MEJORA CONTINUA EN UNA EMPRESA DEL RUBRO TEXTIL"

Cirillo, María Agustina; Artigas, María Velia; Migueles, Marina

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata
aguscirillo13@gmail.com; mvartigas@hotmail.com; marinaamigueles@gmail.com

RESUMEN

El presente trabajo forma parte de un Proyecto Final de la carrera de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata. El mismo tiene como objetivo proponer la implementación de un sistema de mejora continua en una empresa de fibras textiles dedicada a la producción de artículos para el hogar, situada en Batán, provincia de Buenos Aires. Para ello, se inició con un relevamiento exhaustivo de los diferentes modelos de evaluación del nivel de madurez en mejora continua disponibles en la literatura especializada. Posteriormente, se desarrolló una herramienta integradora basada en el modelo de autodiagnóstico de mejora continua propuesto por Formento y el modelo evolutivo de comportamiento de mejora continua elaborado por Bessant, con el propósito de realizar un análisis integral de la empresa. La metodología para el análisis mencionado se realizó mediante entrevistas con personal clave, observación directa y revisión de documentación. Adicionalmente, se evaluó a determinados colaboradores de la organización para identificar cuáles era los actores clave necesarios para formar equipos de mejora. Los resultados del estudio revelaron que la empresa textil se encuentra en un nivel de pre-mejora donde no hay un enfoque estructurado ni formal, las iniciativas de mejora son esporádicas y no sostenibles. No obstante, el diagnóstico permitió identificar fortalezas y debilidades, lo que facilitó la definición de los lineamientos a seguir y su estructuración en un plan de acción.

Palabras Claves: Mejora continua, sistema de mejora continua, nivel de madurez, cultura organizacional, empresa textil.

ABSTRACT

The present work is part of a Final Project for the Industrial Engineering degree at the Faculty of Engineering of the National University of Mar del Plata. Its objective is to propose the implementation of a continuous improvement system in a textile fiber company dedicated to the production of household items, located in Batán, Buenos Aires province. To achieve this, an exhaustive survey of the different models for assessing the maturity level in continuous improvement available in the specialized literature was carried out. Subsequently, an integrative tool was developed based on the continuous improvement self-diagnosis model proposed by Formento and the evolutionary model of continuous improvement behavior developed by Bessant, with the purpose of conducting a comprehensive analysis of the company. The methodology for the aforementioned analysis was conducted through interviews with key personnel, direct observation, and document review. Additionally, certain collaborators within the organization were evaluated to identify the key players necessary to form improvement teams. The study results revealed that the textile company is at a pre-improvement level, where there is no structured or formal approach, and improvement initiatives are sporadic and unsustainable. However, the diagnosis allowed for the identification of strengths and weaknesses, facilitating the definition of guidelines to follow and their structuring into an action plan.

Keywords: Continuous improvement, continuous improvement system, maturity level, organizational culture, textile company.

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. Descripción de la empresa y problemática a tratar.

En un entorno progresivamente desafiante, resulta de vital importancia para las organizaciones enfocar sus esfuerzos en seleccionar las estrategias más adecuadas para mantenerse competitivas. En este contexto comienzan a tomar relevancia aspectos como el mejoramiento de la calidad, la búsqueda de la satisfacción del cliente, la reducción de costos y el aumento de la eficiencia operativa. Para alcanzar estos objetivos, el medio que emerge de manera cada vez más predominante es la mejora continua.

El presente trabajo forma parte de un Proyecto Final de la carrera de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata y aborda como temática principal el desarrollo de un sistema de mejora continua en una empresa del sector textil con más de 50 años de historia ubicada en la localidad de Batán. A fin de mantener la confidencialidad de la organización, de aquí en adelante se emplean las siglas M.T.S. como nombre ficticio. Si bien en la actualidad la organización aplica un Sistema de Gestión de la Calidad (SGC) bajo el modelo de la norma ISO 9001:2015, luego del paso de tres generaciones, M.T.S. se encuentra atravesando una transición hacia mejores prácticas empresariales en donde el objetivo de aplicar la mejora continua comienza a contemplarse. La llegada de nuevos profesionales a nivel jefatura y gerencia trajo consigo la implementación de metodologías como las 5S y la búsqueda de la mejora de los procesos, motivadas por su experiencia en otras empresas que aplican actualmente la mejora continua. Por lo tanto, el diseño de un plan de acción para lograr una implementación exitosa y sostenible resultaría de gran utilidad.

El objetivo general del trabajo consiste en diseñar y proponer un sistema de mejora continua en una empresa del rubro textil. Para ello, se definen como objetivos específicos el relevamiento y análisis de diferentes modelos de evolución de mejora continua presentes en el estado del arte; la elaboración de un diagnóstico del grado de madurez de la organización respecto a la mejora continua; la identificación de los lineamientos necesarios para el desarrollo de un sistema de mejora continua adecuados a la empresa; el análisis de los recursos humanos disponibles en la empresa para generar un plan de capacitación para la formación de equipos de mejora continua y el diseño del sistema de mejora continua.

2. METODOLOGÍA.

El presente proyecto se aborda bajo una metodología de trabajo que consta de tres etapas desarrolladas entre los meses de marzo y noviembre de 2023. La primer etapa comienza con la revisión de la literatura existente sobre la mejora continua para tomar conocimiento de la temática a tratar. Luego se efectúa el diagnóstico y la descripción de la situación actual de la empresa en estudio. En esta instancia, se desarrolla el análisis general de la organización para lo cual se emplea información obtenida a partir del desempeño como pasante de la misma y se analizan documentos facilitados por miembros de la empresa. Finalmente se determina el nivel de madurez en mejora continua de la organización. Para ello, se lleva a cabo una búsqueda y relevamiento exhaustivo de diferentes modelos de madurez presentes en el estado del arte. Cada uno de ellos se somete a un análisis comparativo que permite la selección del modelo a adoptar. La información pertinente para la ejecución del modelo se obtiene mediante entrevistas con miembros de la empresa considerados informantes claves.

En la segunda etapa, se realiza un análisis de los colaboradores con el objeto de determinar el perfil de las personas que integran la organización. Se adopta como metodología de recolección de datos la observación directa a partir de visitas a planta y entrevistas con operarios y encargados. De esta manera, se sugiere una posible estructura de los equipos de mejora y se propone un plan de capacitación.

La tercer etapa se desarrolla en función de los resultados obtenidos en el diagnóstico y consiste en la enumeración de los lineamientos necesarios para la implementación de la mejora continua.

3. MARCO TEÓRICO.

3.1. Modelos de mejora continua.

La mejora continua (MC) exige su aplicación dentro de un marco coherente para lograr una mejora general junto con un cambio cultural en la forma en que opera la organización y las personas que la componen (Singh y Singh, 2015). En ese sentido, en la literatura se han propuesto modelos específicos para explicar el modo en que se debe implantar la MC. Estos modelos establecen criterios y orientan a

una organización sobre cómo debería gestionar la MC y, por lo tanto, le permiten generar un diagnóstico o evaluación que resulta de observar las diferencias entre el modelo y la situación actual de la empresa (Marin Garcia et. al, 2014). A continuación, se presenta un breve detalle de los diferentes modelos relevados.

3.1.1. Modelo evolutivo de comportamiento de MC.

Bessant et al. (2001), establecen un modelo en donde la MC es considerada como una capacidad organizacional dinámica que se desarrolla en cinco niveles, a mayor nivel de madurez mayor impacto se obtiene de la MC (Tolamatl Michcol et. al, 2016). La revisión de la literatura refleja que este es el modelo con mayor aceptación por parte de la comunidad académica y empresarial.

El modelo evolutivo de comportamiento de MC se basa en la premisa de que existen una serie de conductas y rutinas que pueden asociarse al grado de evolución del proceso de MC. Es decir, un proceso con un mayor nivel de maduración ha incorporado una mayor cantidad de estas rutinas (Bessant et al., 2001). Los niveles propuestos por Bessant et al. (2001) son:

- Nivel 1. Pre-MC: los problemas se resuelven al azar; no hay esfuerzos formales o estructura para mejorar la organización; las soluciones tienden a ofrecer beneficios a corto plazo; no hay impacto estratégico en los recursos humanos, finanzas u otros objetivos medibles; el personal y la dirección no son conscientes de la MC como un proceso.
- Nivel 2. MC estructurada: la MC o una iniciativa de mejora equivalente ha sido introducida; el personal utiliza procesos de resolución de problemas estructurados; una gran proporción del personal participa en actividades de MC; el personal ha sido capacitado en herramientas de mejora básicas; existe un sistema estructurado de gestión de ideas; se ha introducido un sistema de reconocimiento; las actividades de MC aún no se encuentran integradas con las operaciones diarias.
- Nivel 3. MC orientada a objetivos: a lo expresado en el Nivel 2 se incluye la implementación formal de objetivos estratégicos; el seguimiento y medición de la MC en función de esos objetivos; las actividades de MC son parte de la mayoría de las actividades del negocio; el enfoque incluye la resolución de problemas que abarcan fronteras e incluso empresas.
- Nivel 4. MC proactiva: a lo expresado en el Nivel 3 se agrega la delegación de responsabilidades a la unidad de resolución de problemas; altos niveles de experimentación.
- Nivel 5. Capacidad plena de MC: para alcanzar este nivel se incluye el comportamiento de aprendizaje extensivo y ampliamente distribuido, encontrar y resolver sistemáticamente problemas; capturar y compartir el aprendizaje; experimentación generalizada, autónoma pero controlada.

Para avanzar en los niveles de madurez, Bessant et. al (2001) propone el desarrollo de ocho rutinas: R1. Comprender la MC; R2. Adquirir hábitos de mejora; R3. Liderar el camino; R4. Enfoque de la MC; R5. Alinear la MC; R6. Resolución compartida de los problemas; R7. MC de la MC; R8. La organización que aprende.

3.1.2. Modelo evolutivo de comportamiento de MC adaptado.

Si bien el modelo evolutivo de comportamiento de MC define los niveles y rutinas, no presenta una vinculación entre la asimilación de las rutinas de mejora en función de cada nivel de madurez. A su vez, para determinar el grado de desarrollo, Bessant (2001) propone un instrumento compuesto por una serie de afirmaciones que caracterizan cada nivel y cada rutina, pero no expresa la forma en la que se debe aplicar ni brinda una escala de medición determinada.

Por este motivo, Unzueta Aranguren (2020) realiza una adaptación del modelo de Bessant y propone dos cuestionarios de evaluación de niveles de madurez y desarrollo de rutinas que se encuentran validados y accesibles. El instrumento para evaluar el nivel de madurez consta de 10 preguntas para cada nivel que se responden según “Verdadero” o “Falso”. El cuestionario de rutinas utiliza las afirmaciones de conductas presentadas por Bessant (2001) y añade una serie de preguntas que se califican según una escala Likert. Las herramientas de evaluación de este modelo se encuentran disponibles para su consulta en el documento elaborado por Unzueta Aranguren (2020).

3.1.3. Modelo estructural integrado hacia una actividad exitosa de MC.

El modelo estructural integrado elaborado por Wu y Chen toma como punto de partida el modelo de Bessant e introduce ciertas modificaciones a partir de oportunidades de mejora detectadas en el modelo

original. Wu y Chen (2006) sugieren que para generar un ambiente de mejora las actividades se deben ejecutar en torno a tres aspectos principales: problema; métodos y herramientas y promoción.

El núcleo de este modelo es una estructura piramidal que se obtiene a partir de la interacción de los tres componentes mencionados con su respectivo sistema de entrada/salida. Al inyectar los recursos adecuados en la pirámide (entrada) y trabajando efectivamente con los tres componentes de la base (estructura), es posible promover la capacidad de los empleados y lograr la mejora del desempeño del negocio (salida) (Wu y Chen, 2006). El modelo utiliza los cinco niveles propuestos por Bessant y establece que el avance a través de los niveles se logra al combinar el problema, los modelos y herramientas, y la promoción.

3.1.4. Modelos CMMI.

Los *Capability Maturity Model Integration* (CMMI) son un conjunto de buenas prácticas que ayudan a las organizaciones a mejorar sus procesos. Estos modelos son desarrollados por equipos de producto con miembros procedentes de la industria, del gobierno estadounidense y del *Software Engineering Institute* (SEI) (*Software Engineering Process Management Program*, 2010). Si bien inicialmente fueron desarrollados para su aplicación en la industria del *software*, su utilización se ha difundido hacia industrias de manufactura y servicios. Los CMMI presentan cuatro niveles de capacidad y cinco niveles de madurez.

3.1.5. Modelo CIMM.

El CIMM *(Continuous Improvement Maturity Model)* es un enfoque desarrollado por la *academia Lean Six Sigma* (LSSA) que combina los principios de diferentes metodologías de mejoramiento de procesos, gestión de la calidad y desarrollo de nuevos productos, con la mentalidad, habilidades y herramientas para la mejora (Lindemulder, 2015).

El CIMM se encuentra estructurado en dos ejes de trabajo, cada uno con sus respectivos niveles de madurez (cinco niveles). El primer eje se refiere al desarrollo de la organización, y el segundo a la mejora de los procesos. El modelo describe el desarrollo organizacional en función del desarrollo del liderazgo, las competencias de los colaboradores, la cultura organizacional y la forma en que la organización es gestionada. En cuanto al eje de mejora de procesos, el CIMM focaliza en la creación de una base sólida, la creación de una cultura de MC, el desarrollo de procesos estables, eficientes, capaces y a largo plazo (Theisens y Harbone, 2018).

3.1.6. Modelo autodiagnóstico de MC.

El modelo autodiagnóstico de MC es un instrumento validado que permite a las organizaciones autoevaluar su nivel de desarrollo en el proceso de MC y detectar áreas de mejora posibles (Formento, 2015). El modelo toma como base los nueve factores claves para la implementación y el desarrollo de la MC detectados por Formento y un equipo de investigadores del Instituto de Industria de la Universidad Nacional de General Sarmiento (Formento, 2013). A continuación, se enumeran y describen brevemente cada uno de los factores:

1. Formalización y estructura. Para implementar la MC, las organizaciones deben definir un programa formal que se encuentre avalado por la alta dirección y que brinde un marco de operación estándar en función de los procedimientos establecidos. Los programas formales deben contar con una estructura que los soporten, con colaboradores internos dedicados a su desarrollo y seguimiento diario.
2. Continuidad y duración. Los programas de MC no poseen un final establecido, deben ser continuos en el tiempo. El factor de continuidad apunta a la integración de las rutinas de mejora en la cotidianeidad de la organización y su alineación con los objetivos estratégicos.
3. Despliegue y alcance. La forma en que se despliega el programa resulta de gran importancia si se busca que impacte de igual manera en toda la organización. Para que todas las áreas hablen el mismo idioma, es fundamental la generación de equipos interdisciplinarios que desarrollen los problemas u oportunidades de mejora.
4. Entrenamiento y capacitación. Este factor se enfoca en la formación y entrenamiento de las personas en las metodologías y herramientas de resolución de problemas.
5. Compromiso de directivos. Este es uno de los factores más influyentes sobre el proceso de mejora y sobre el resto de los factores claves. Las actitudes adoptadas y transmitidas por los máximos niveles jerárquicos son las que marcan la cultura de la organización.

6. Coordinación del programa. Hace referencia a cómo se gestiona e integra cotidianamente la rutina con la mejora a través de recursos internos.
7. Metodología y herramientas. Para la aplicación de proyectos de mejora debe haber una metodología sistemática que guíe el curso de acción. Cada metodología cuenta con una serie de herramientas que deberán emplearse en función del problema a tratar.
8. Medición de resultados. En un proceso de MC es necesario tener evidencia de los progresos y resultados alcanzados con su aplicación.
9. Comunicación, reconocimiento e incentivos. La MC busca generar un ciclo de aprendizaje permanente en donde el principal activo es el capital humano. Para ello, es necesario ofrecer la adecuada motivación a los colaboradores de la organización.

Cada una de estas nueve áreas claves se evalúan en función de aspectos tangibles, formales o estructurales y aspectos intangibles, informales o actitudinales. Con factores tangibles, Formento se refiere a todos aquellos aspectos que se observan a simple vista y resultan de fácil reproducción o "imitación". Estos factores son necesarios, pero no suficientes a la hora de implementar la MC; es aquí cuando entran en juego los aspectos intangibles que tienen que ver con la cultura o forma de hacer las cosas y poseen gran relevancia en la explicación de los casos de alta efectividad.

La evaluación de los factores se traduce en forma de dos cuestionarios: uno para aspectos tangibles y otro para intangibles. La respuesta a los cuestionarios permite determinar el nivel de desarrollo alcanzado, tanto globalmente como en cada una de las áreas claves (Formento, 2015). Ambos cuestionarios se encuentran disponibles para su consulta en el libro del autor.

3.1.7. Modelo para la sostenibilidad de la MC.

El modelo para la sostenibilidad de la MC creado por Bateman y David (2002) propone diferentes estadios que atraviesan las organizaciones que aplican un proceso de MC. Para su confección, los autores realizaron un estudio que consistió en el desarrollo y seguimiento de 40 proyectos de mejora en 21 empresas estructurados en tres etapas:

- Etapa 1. Taller de mejora: se conforma un equipo de mejora de procesos para la aplicación de herramientas de mejora que permitan el análisis de problemas y estándares.
- Etapa 2. Seguimiento: se busca el mantenimiento y mejoramiento de los estándares conseguidos en la etapa anterior.
- Etapa 3. Post-seguimiento: en esta etapa se apunta a la integración de la mejora con la rutina y es la que garantiza la sostenibilidad de la mejora en el tiempo.

En función de cómo se desarrollen las actividades de MC en la etapa de "Taller de mejora" y "Seguimiento", las organizaciones se pueden clasificar en cinco estadios: A, B, C, D o E.

4. DESARROLLO.

4.2. Diagnóstico general de la empresa.

M.T.S. es una empresa familiar presente en el mercado textil desde hace más de 50 años. Su actividad comercial se centraliza en el reciclaje de fibras textiles provenientes de residuos manufactureros de otras organizaciones de la industria textil y la elaboración de artículos con aplicación en el área del hogar.

La empresa actualmente no cuenta con una visión claramente definida pero sí posee declarada su misión y valores. Contar con una misión definida demuestra que la organización tiene conocimiento del negocio actual, "quiénes son" y "a qué se dedican", por lo que es un aspecto positivo. Sin embargo, la ausencia de una visión comúnmente es un síntoma que denota falta de claridad en las aspiraciones futuras y puede llegar a generar inconvenientes o confusiones.

4.1.2. Análisis del nivel de madurez de MC de la organización.

Para la selección del modelo de evaluación del nivel de madurez de MC en la organización se compara cada modelo relevado respecto a los criterios de validación, disponibilidad de información y accesibilidad a métodos de evaluación. Finalmente, tomando en consideración el análisis realizado, se selecciona como modelo de evaluación del nivel de madurez de la organización el modelo de autodiagnóstico de MC elaborado por Formento. Particularmente, este modelo dispone de preguntas

que orientan a la organización en los lineamientos a seguir para continuar avanzando en los niveles de mejora.

Una vez seleccionado el modelo de diagnóstico, se evalúa su aplicabilidad en la empresa utilizando los cuestionarios de aspectos tangibles e intangibles. Como resultado, se observa que el modelo autodiagnóstico de MC se encuentra más orientado hacia organizaciones que ya poseen cierto grado de avance en los procesos de MC. Por este motivo, se opta por complementar el modelo de autodiagnóstico de Formento con un modelo que se adapte en mayor medida a la realidad actual de la compañía, como es el caso del modelo evolutivo de comportamiento de Bessant adaptado por Unzueta Aranguren. Este último cuenta con un nivel de "pre-mejora" que contempla la etapa preliminar a la implementación del proceso de MC.

Con el fin de considerar las fortalezas de cada modelo, se elabora una herramienta de diagnóstico que combina los cuestionarios y permite establecer el nivel de madurez de la organización según ambos modelos. La generación de una herramienta integrada posibilita la fusión de las similitudes que presentan los modelos, pero también contempla aquellos puntos en los que difieren (figura 1). De esta manera, se plantea un modelo integrado robusto que brinda lineamientos globales para la implementación de un sistema de MC incluso en empresas que se encuentran en una etapa incipiente de la mejora.

En la figura 1 se presenta la comparación entre el modelo autodiagnóstico (Formento) y el modelo evolutivo de comportamiento adaptado (Bessant adaptado por Unzueta Aranguren). En la zona interna del gráfico se detallan las similitudes entre ambos modelos y los ítems de sus respectivos cuestionarios que se encuentran relacionados. En este caso, para el modelo evolutivo corresponden las preguntas que comienzan con "P" (niveles) y "C" (rutinas); y para el modelo autodiagnóstico las referencias con "T" (tangibles) e "I" (intangibles). A su vez, a la izquierda se encuentran las características del modelo autodiagnóstico de Formento que son diferentes y, a la derecha, las del modelo evolutivo de comportamiento de Bessant adaptado por Unzueta Aranguren.

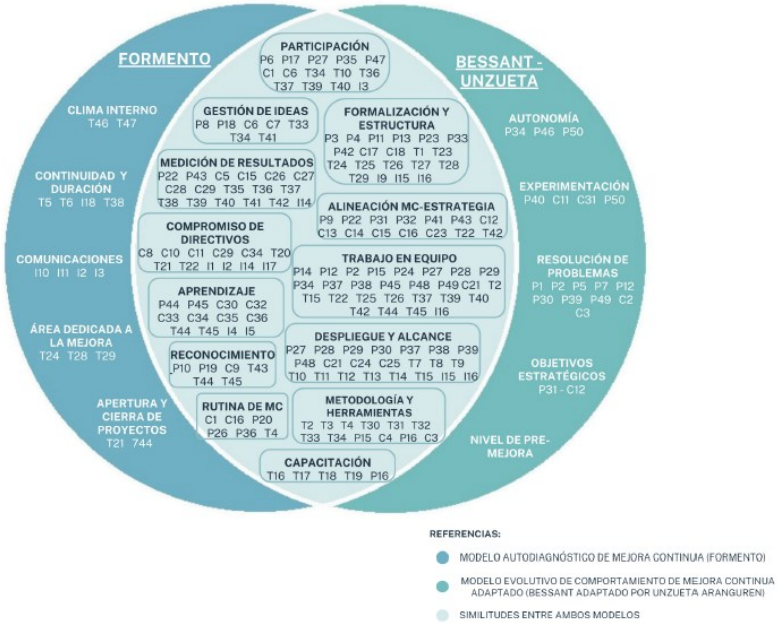


Figura 1: Similitudes y diferencias entre el modelo de Bessant adaptado por Unzueta Aranguren y el modelo de Formento.
Fuente: Elaboración propia a partir de Unzueta Aranguren (2020), Formento (2015) y Bessant (2001).

En cuanto a la estructura del instrumento integrador de modelos, el mismo se encuentra compuesto por una serie de preguntas abiertas o cerradas (verdadero o falso, selección de una opción, etc.) organizadas en diferentes bloques. Las respuestas a determinadas preguntas condicionan la apertura de un bloque de preguntas con mayor nivel de detalle que se encuentran directamente relacionadas. De esta manera, se busca generar una herramienta que mapee todas las afirmaciones de los modelos y, a su vez, no resulte demasiado extensa para los casos de madurez incipiente. Dado el alcance del presente trabajo, si se desea profundizar el análisis de la herramienta, es posible acceder mediante la siguiente ruta: Herramienta integradora de modelos para la evaluación del nivel de madurez de MC.docx

El cuestionario posee una columna denominada “relación” en la que se expone con qué estamentos de cada modelo se vincula la sentencia en cuestión. En algunos casos, una única pregunta se relaciona con más de una afirmación de los modelos. Ello se debe a que, al momento de elaborar la herramienta, se generaron las preguntas de manera abarcativa para evitar caer en la necesidad de recurrir a un mayor número de enunciados.

La herramienta integradora de modelos se pone en práctica mediante una entrevista realizada al encargado del SGC. La información recabada a partir de la entrevista permite completar los cuestionarios correspondientes a cada modelo teniendo en cuenta la relación entre las preguntas. De esta manera, es posible determinar el nivel de madurez de la organización en MC según cada escala de evaluación. A partir de la brecha con los lineamientos de la herramienta integradora, genera la propuesta de implementación.

Nivel de madurez según modelo autodiagnóstico de MC

En la tabla 1 se detallan los resultados finales obtenidos a partir del modelo de autodiagnóstico de MC. Los grados de avance se dividen en función de los factores claves que componen cada área del modelo y se categorizan según los aspectos tangibles e intangibles.

Tabla 1: Tabla final de resultados obtenidos para el modelo autodiagnóstico de MC.

Fuente: Elaboración propia.

Factores Clave	**Tangibles**	**Intangibles**
Área 1: Base de Funcionamiento	**Grado de avance**	**Grado de avance**
Formalización y estructura	25,0%	0,0%
Entrenamiento y capacitación	14,0%	0,0%
Metodología y herramientas	30,0%	25,0%
Consolidado área 1	**23,0%**	**12,5%**
Área 2: Dinámica del proceso		
Compromiso de directivos	6,7%	34,1%
Coordinación del programa	0,0%	39,5%
Despliegue y alcance	30,0%	31,3%
Comunicación, reconocimiento e incentivos	30,0%	34,1%
Consolidado área 2	**16,7%**	**34,3%**
Área 3: Resultados		
Medición de resultados	12,5%	0,0%
Continuidad y duración	0,0%	0,0%
Consolidado área 3	**10,0%**	**0,0%**
Consolidado Total	**16%**	**29%**

El consolidado total arroja mayor grado de avance para los aspectos intangibles que para los tangibles, aunque ambos valores llevan a categorizar a la empresa dentro del primer nivel de madurez (Nulo) que propone el modelo. Este resultado era de esperarse puesto que la organización aún no aplica ningún programa de MC formal y el modelo se encuentra más bien enfocado hacia empresas que ya poseen cierta base de mejora establecida.

Aspectos tangibles

Al analizar en profundidad la categoría de aspectos tangibles, se observa que los mayores grados de avance corresponden a la base de funcionamiento y a la dinámica del proceso. Si bien todos los puntos presentan oportunidades de mejora, las principales debilidades corresponden a la “Coordinación del programa”, la “Continuidad y duración” y al “Compromiso de directivos”. Los resultados obtenidos para los factores “Coordinación del programa” y “Continuidad y duración” se justifican principalmente con el hecho de no contar con un programa formal de MC.

De las preguntas correspondientes al factor “Compromiso de directivos” se desprende que en los casos en los que se han desarrollado proyectos no hubo reuniones de apertura y cierre, sino que se realizaron de manera más informal y esporádica; la empresa cuenta con ciertos objetivos estratégicos establecidos pero no fueron tenidos en cuenta para los proyectos que se han realizado, sino que surgieron por necesidades detectadas.

Esa informalidad de los equipos lleva también a comprender el motivo de los resultados obtenidos para el factor “Medición de resultados” (12,5%). Como conclusiones generales para este factor, se observa que no se miden los costos evitados por los proyectos y que es muy baja la participación del personal. A su vez, los proyectos realizados no suelen contar con una gran cantidad de integrantes, en su mayoría son desarrollados por 2 o 3 personas de una única área y tienen una extensa duración (1 año o más) por abordarse de manera intermitente. Las propuestas surgen mayormente desde niveles operativos y encargados, aunque se han detectado ideas aportadas por nivel Gerencia.

El grado de avance obtenido para el factor clave “Entrenamiento y capacitación” indica que debe desarrollarse un plan de formación para todo el personal en temas relacionados con la MC (herramientas, metodologías, trabajo en equipo, etc.). A su vez, demuestra la necesidad de asignar facilitadores internos y capacitarlos de manera intensiva en herramientas más específicas y temas como liderazgo, trabajo en equipo, etc. Este punto va de la mano con el factor “Metodologías y herramientas” que evidencia la falta de aplicación de herramientas como el ciclo PDCA, diagrama de causa y efecto, Pareto, entre otras, debido a la inexistencia de capacitaciones para su utilización. Dentro de este factor, hay dos preguntas orientadas hacia las “sugerencias de mejora”. Actualmente, la organización cuenta con un buzón de sugerencias en donde los colaboradores pueden aportar sus puntos de vista o ideas.

Por otro lado, el impacto en el factor “Formalización y estructura” se verá reflejado cuando se implemente formalmente el programa de MC y se definan equipos de mejora. Dentro de este factor se analiza también la aplicación de un programa de orden y limpieza. Desde el año 2022, la empresa aplica la metodología 5S. Sin embargo, a través de visitas a planta y luego de la aplicación de la herramienta integradora de modelos se detectan ciertas oportunidades en su implementación. Se observa que no se cumple estrictamente el estándar del sector y que la evaluación mediante auditorías no se sostiene en el tiempo.

Por último, dos de los factores con mayor porcentaje de avance dentro de los aspectos tangibles son “Despliegue y alcance” y “Comunicación, reconocimientos e incentivos”. Si se analizan los escasos proyectos que se han llevado a cabo en la organización, se observa que se desarrollaron mayormente en las áreas de Producción y en algunas áreas de soporte como Mantenimiento y Logística. Sería necesario tener en cuenta también áreas administrativas y comerciales.

Finalmente, en materia de “Comunicación, reconocimientos e incentivos”, se evidencia que no hay un programa de reconocimiento para estimular la participación.

Aspectos intangibles

Por otra parte, si se analizan los aspectos intangibles, el menor nivel de desarrollo se encuentra en el área de resultados. Los factores intervinientes son “Medición de resultados” y “Continuidad y duración”. Como conclusiones generales para estos factores, se observa que en ninguno de los proyectos desarrollados hasta el momento en la empresa se realizó una instancia de reflexión posterior a su cierre y se desconoce el momento preciso en el que finalizaron, es decir, no se cerraron formalmente. Esto puede ser otra consecuencia de la falta de formalidad de los proyectos.

La siguiente área con menor grado de avance desde el enfoque intangible es la base de funcionamiento (12,5%) compuesta por los factores “Formalización y estructura”, “Entrenamiento y capacitación” y “Metodología y herramientas”. En este caso, se evidencia que no hay un mecanismo de captura de aprendizaje ordenado y sistemático. Esta carencia lleva al desaprovechamiento de la experiencia para ajustar y fortalecer los procesos mediante herramientas como la capacitación y el entrenamiento. A su vez, por lo general los proyectos son realizados por un círculo pequeño de personas que resuelven las problemáticas en función de su experiencia y conocimientos.

Por último, dentro de los aspectos intangibles, el área con mayor grado de avance es la dinámica del proceso (34,3%). Analizando este factor, se desprende que el nivel de involucración de la dirección, gerencia y mandos medios en el programa de mejora es bajo ya que no se aplica aún. Sin embargo, en función del contacto establecido con la organización se observa un gran interés en la MC. Ese compromiso debe sostenerse y demostrar mediante participación en actividades de mejora cuando efectivamente se aplique un programa.

Nivel de madurez según modelo evolutivo de comportamiento de MC adaptado por Unzueta Aranguren

A partir del modelo autodiagnóstico, se evidencia que la organización aún debe trabajar en el establecimiento de ciertos aspectos fundamentales para aplicar la MC. Para complementar el análisis, se emplea el modelo evolutivo de comportamiento de MC de Bessant adaptado por Unzueta Aranguren y se obtienen los siguientes resultados para el nivel de madurez (tabla 2).

Tabla 2: Resultados para la evaluación del nivel de madurez según Bessant.

Fuente: Elaboración propia

NIVEL DE MADUREZ	VALOR
1	0,8
2	0,2
3	0
4	0
5	0

El mayor puntaje corresponde al nivel 1, lo que refleja que la empresa se encuentra en un estadio de pre-MC. Existe interés en la MC pero la implementación aún es muy básica. A partir del cuestionario del modelo se extraen las siguientes conclusiones:

- Los problemas se resuelven a medida que surgen. Se tiene una mirada más bien cortoplacista. Este resultado concuerda con la ausencia de definición de una visión a largo plazo analizada anteriormente. Sería importante comenzar a enfocarse en problemas que trasciendan el día a día.
- Se crean equipos para solucionar problemas concretos, generalmente conformados únicamente por personas del mismo departamento. La participación de los empleados en los proyectos de mejora es escasa. Los proyectos realizados no se desarrollan de manera formal y surgen más bien a tracción de un círculo pequeño de empleados. En línea con lo detectado en el modelo de Formento.
- No existe una estructura organizativa para desarrollar el sistema de MC.
- Los proyectos de mejora son ocasionales, no se aplica una metodología de búsqueda y resolución de problemas. Se requiere capacitación y planificación de necesidades a estudiar mediante proyectos de mejora.
- Existe un sistema estructurado para gestionar sugerencias de mejora. Requiere mayor impulso por parte del liderazgo para incrementar la participación de los colaboradores.
- Existe un sistema de reconocimiento pero enfocado hacia el rendimiento de uno de los sectores. No existen evidencias que se emplee a modo de estímulo de la participación de empleados en actividades que apoyen la mejora.

En cuanto al cuestionario de rutinas, en la figura 2 se presenta un gráfico radar con los porcentajes de desarrollo obtenidos para cada una de ellas. Como se puede observar, siete de los ocho niveles de asimilación de rutinas caen por debajo del objetivo de desarrollo del nivel de madurez 1. Sólo la rutina 8 “la organización que aprende” supera el objetivo y se encuentra en una transición entre el nivel 1 y 2.

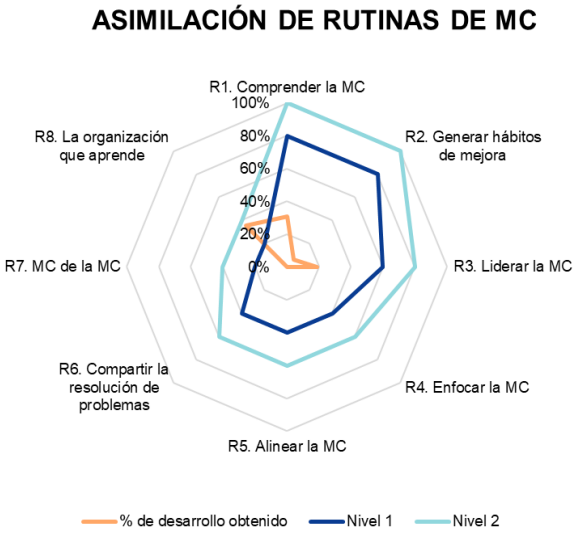


Figura 2: Gráfico radar del nivel de asimilación de rutinas de MC.
Fuente: Elaboración propia

4.2.3 Análisis de los colaboradores de la empresa.

Al evaluar el nivel de interés de los colaboradores en conocer más sobre la MC e involucrarse en el proceso se divide a los encuestados en línea con una regla experimental que expresa que la dotación puede clasificarse en tres grupos: el grupo A (15%) que se muestra proactivo y con tendencia a apoyar fuertemente el programa de mejora; el grupo C (15%) que demuestra un comportamiento opuesto al del grupo A, con cierto desinterés o apatía con la idea de participar en el programa y el grupo B (70%) que se encuentra en una zona intermedia a la expectativa de los resu.ltados y con posibilidad de direccionarse en cualquiera de los dos sentidos anteriores (Formento, 2015). Para el caso de M.T.S., el grupo A se compone por un 22% de la dotación, el grupo C por un 14% y el grupo B por un 64%.

Teniendo en cuenta que el grupo B se verá influido por los resultados obtenidos, para lograr la sostenibilidad de la MC será fundamental atraer a quienes conforman este conjunto en dirección del grupo A. Por este motivo, para iniciar la implementación del proceso de MC, se recomienda la formación de un equipo piloto mayormente con integrantes del grupo A. De esta manera, se incrementan las probabilidades de éxito y la posibilidad de persuasión del personal que se mantiene expectante. Se plantea que dentro de los equipos exista un facilitador, un líder y un comité de mejora. A su vez, se presenta en la organización un plan de formación propuesto para los colaboradores de la empresa estructurado según contenidos, alcance y el orden de implementación.

4.3. Lineamientos para la implementación de la MC.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos a partir del diagnóstico de la organización, se plantean diferentes lineamientos para la implementación de un programa de MC que integre los aspectos de ambos modelos. A la hora de realizar las propuestas, más allá de considerar la brecha existente entre cada nivel, se busca alcanzar un desarrollo evolutivo que permita implementar la mejora de manera sostenible y no generar “falsos comienzos” que lleven a la obtención de resultados no deseados en el programa. A continuación, se presentan las distintas etapas propuestas con sus fases y respectivos lineamientos de manera general (figura 3).



Figura 3: Etapas y fases del programa de implementación del sistema de MC.

Fuente: Elaboración propia en base a programa de MC de empresa alimenticia M.C. (nombre ficticio, confidencial).

4.3.1. Etapa Fundacional.

En esta etapa se establecen las bases para la aplicación del programa. El establecimiento de bases abarca la definición de la visión, la revisión y/o re definición de objetivos y su comunicación, la creación de un departamento de Calidad (o similar en un principio, a mayor madurez se debería crear un departamento específico de MC), la re-definición de indicadores relevantes para la organización y su animación. Posteriormente, se comienza con la fase de “Inmersión” a nivel liderazgo en donde se brindan conceptos sobre la MC en busca de su compromiso. Finalizada esta fase, se convoca a gerencia y jefatura para el diseño específico del plan de acción a seguir para comenzar con la implementación del programa de mejora. Se definen los detalles del sistema (nombre del programa, sistema de sugerencias, equipos de mejora, plan de reconocimiento, metodología de seguimiento, indicadores, etc.). Una vez diseñado el sistema, se realiza el lanzamiento formal del programa ante toda la dotación y se procede a entrenar a los miembros de los equipos de mejora. Se comienza con la implementación y se realiza el seguimiento y coaching del mismo.

4.3.2. Etapa de Estabilización.

Evaluación del nivel de madurez. Una vez finalizado el primer proyecto, realizar un nuevo diagnóstico del nivel de madurez de MC. Así se identificarán las brechas existentes para continuar avanzando en los niveles de mejora y se obtendrán los lineamientos necesarios. Esta etapa comprenderá nuevamente el diseño del programa para ajustar los puntos necesarios y el entrenamiento de nuevos equipos de mejora. De esta manera, se comenzará a aplicar el programa en un mayor número de equipos. Una fuente de generación de ideas a utilizar es el sistema de sugerencias. Siempre al finalizar cada proyecto mostrar resultados al resto de la organización.

4.3.3. Etapa de Aceleración.

La etapa de estabilización se repetirá hasta que la organización se encuentre en un nivel de madurez alto (nivel 4 - “MC proactiva” o nivel 5 - “Capacidad plena de MC” en modelo de Bessant y nivel 4 - “Desarrollo pleno” o nivel 5 - “Excelencia” en modelo de Formento), momento en el cual pasa hacia la etapa de Aceleración. En este momento, la empresa cuenta con un amplio despliegue de la MC, se emplean metodologías avanzadas y se sitúa en una instancia de “organización que aprende”. Se trata de una instancia de perfeccionamiento de la excelencia.

Se le asigna el nombre “Aceleración” por ser una etapa en la que el nivel de madurez del sistema de MC ya es avanzado, se aplica ampliamente en la organización y las acciones que se realicen serán para continuar perfeccionándolo. Es importante aclarar que la empresa deberá continuar autoevaluando su nivel de madurez cíclicamente con el modelo y en función de ello definirá las herramientas a utilizar para sostener el programa y mejorarlo.

5. CONCLUSIONES.

El objetivo general del presente proyecto consistió en la propuesta de un sistema de MC que actúe como marco de referencia a la hora de implementarla en una PyME argentina del sector textil. Luego de realizar un diagnóstico general de la organización, para determinar el grado de evolución de MC en la organización se seleccionaron el modelo autodiagnóstico de MC desarrollado por Formento y el modelo evolutivo de comportamiento de MC propuesto por Bessant adaptado por Unzueta Aranguren. Ambos modelos se integraron en una herramienta integradora que permite recabar la información necesaria para completar los cuestionarios mediante un menor número de preguntas que abarcan varios ítems de los modelos. A modo de proyección futura, la herramienta generada y la fusión de ambos modelos podría ser utilizada como insumo para la generación y validación de un modelo adaptado a empresas que se encuentran transitando etapas previas o incipientes a la MC y contemple las fortalezas y elementos diferenciadores de cada modelo.

Como resultado de la aplicación de la herramienta, se determinó que la organización se encuentra en un estadio “Nulo” de mejora según el modelo de Formento y en un nivel de “Pre-mejora” según el enfoque de Bessant. Esta condición era de esperarse ya que la empresa actualmente no aplica ningún programa de mejora formal. Sin embargo, es importante realizar el diagnóstico ya que permite detectar las fortalezas y debilidades de la empresa para definir los lineamientos a seguir y estructurarlos en un plan de acción.

A su vez, luego de consultar numerosas fuentes bibliográficas, fue posible comprender la importancia que el rol de las personas juega en este tipo de procesos. Por este motivo, el diagnóstico de la empresa se complementó con el análisis de los colaboradores. En este punto se aplicó una regla experimental que permitió distribuir a la dotación según su grado de interés en el proceso de MC (proactivos, indiferentes, escépticos) y se detectaron aquellas personas que se recomienda que integren los primeros equipos de mejora para asegurar una mayor probabilidad de éxito del programa.

El fracaso de gran cantidad de programas de MC puede llevar a pensar que es una práctica que se debe restringir únicamente a las grandes organizaciones. Sin embargo, aplicarlo en PyMES es posible, si se cuenta con un sistema estructurado que lo sustente y guíe en su implementación. A modo de conclusión final, la realización del trabajo permitió obtener una mirada más amplia de una filosofía que comienza a tomar relevancia en el ámbito organizacional y que promete buenos resultados para las empresas que lo aplican adecuadamente.

6. REFERENCIAS.

BATEMAN, N. y DAVID, A. Process improvement programmes: a model for assessing sustainability, International Journal of Operations & Production Management, Volume 22, Issue 5, 2002, pp. 515-526.

BESSANT, J.; CAFFYN, S. High-Involvement Innovation Through Continuous Improvement, International Journal of Technology Management, January 1997.

BESSANT, J.; FRANCIS, D. Developing Strategic Continuous Improvement Capability, International Journal of Operations & Production Management, Volume 19, November 1999, pp. 1106-1119.

FORMENTO, H.R.; ALTUBE, L.; CHIODI, F.; CUSOLITO, F. y GATTI, S. Key factors for a continuous improvement process, Independent Journal of Management & Production. Volume 4, Issue 2, 2013, pp. 391-415

FORMENTO, H.R. (2015). El proceso de mejora continua: claves para el desarrollo exitoso de las organizaciones. Los Polvorines. Universidad Nacional de General Sarmiento. Ediciones UNGS.

LINDEMULDER, M.J. (2015). Development of a Continuous Improvement Maturity Model Assessment Instrument, Proceedings of the 5 Th IBA Bachelor Thesis Conference, July 2nd, 2015, pp. 1–13.

MARIN GARCIA, J.A.; BAUTISTA POVEDA, Y. y GARCIA SABATER, J.J., Etapas en la evolución de la mejora continua: Estudio multicaso, Intangible capital, Volumen 10, Edición 3, 2014, pp. 584-618.

SINGH, J.; SINGH, H. Continuous improvement philosophy: literature review and directions, Benchmarking, Volume 22, Issue 1, 2015, pp. 75–119.

THEISENS H.C. (2014). Climbing the Mountain: mindset, skill set and tool set for lean six sigma green & black belts. Amsterdam. LSSA BV.

THEISENS, H.C. y HARBONE, D. (2018). Lean Six Sigma Black Belt Skill Set. Amersfoort, Netherlands. Lean Six Sigma Academy, LSSA.

TOLAMATL MICHCOL, J.T.; PICO GONZÁLEZ, B.; SALDAÑA CARRO, C.; VARELA LOYOLA, J.A., Desarrollo de sistemas de mejora continua, Revista Internacional Administración y Finanzas, Vol. 6 No. 6, 2016, pp. 11-25.

UNZUETA ARANGUREN, G. (2020). Desarrollo y despliegue de un modelo de madurez de mejora continua adaptado a una pyme industrial de bienes de equipo del país vasco. Trabajo final. Departamento de Mecánica y Producción Industrial Mondragon Unibertsitatea.

WU, C. W. y CHEN, C. L. An Integrated Structural Model Toward Successful Continuous Improvement Activity, Technovation, Volume 26, Issue 5-6, 2006, pp. 697-707.

DISTRIBUCIÓN DE PLANTA 4.0

Fernando Maillmann; Leopoldo De Bernárdez

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BUENOS AIRES
fmaillma@itba.edu.ar; ldb@itba.edu.ar

RESUMEN

El presente trabajo nos inmerge en consideraciones de diseño de proyecto al momento de implementar herramientas de toma de datos en tiempo real en planta, también conocidas como tecnología de internet industrial de las cosas, necesarias para optimizar la gestión de operaciones industriales.

Una concepción equivocada que no tome en cuenta diferencias significativas en lo referido a una distribución por proceso versus distribución por producto implicará atravesar indefectiblemente una serie de dificultades que provoquen que los resultados obtenidos no puedan ser traducidos en información necesaria para la búsqueda de la mejora continua.

Las conclusiones son alarmantes, al presentar una situación inicial de monitoreo del OEE del 88%, en contra partida a una realidad, desconocida hasta ese entonces, catorce puntos inferiores del orden del 74%. Esta brecha provocará no atacar la eliminación de desperdicios, conocidos también como mudas, en búsqueda de la optimización del estado de resultados de la compañía. Veremos que dicha diferencia será una consecuencia de la incorrecta imputación de retrabajos generados al realizar un seguimiento de la actividad basado en el tiempo de ocupación de los operarios, en lugar de hacerlo sobre el tiempo efectivo en producir unidades buenas de forma contínua.

La siguiente investigación es del tipo descriptiva, basada en una recolección de datos empíricos tomados en forma asincrónica durante el año 2023, sobre un universo muestral definido por una empresa manufacturera dedicada a la producción de instrumentos de pesaje comercial para el mercado argentino y latinoamericano.

Palabras clave: IIOT, OEE, Operaciones, Distribución, Industria

ABSTRACT

This work immerses us in project design considerations when implementing real-time data collection tools in the plant, also known as internet of things technology, necessary to optimize the management of industrial operations.

A wrong conception that does not take into account significant differences regarding distribution by process versus distribution by product will inevitably involve going through a series of difficulties that cause the results obtained to not be translated into information, necessary for the search for continuous improvement.

The conclusions are alarming, presenting an initial situation of OEE monitoring of 88%, in contrast to a reality fourteen points lower, 74%. This gap will cause not to attack the elimination of waste, in search of optimization of the company's income statement. We will see that this difference will be a consequence of the incorrect imputation of rework generated when monitoring the activity based on the occupation time of the operators, instead of doing so on the effective time in producing good units continuously.

The following research is of the descriptive type methodology, based on a collection of empirical data taken asynchronously during the year 2023 on a sample universe defined by a manufacturing company dedicated to the production of commercial weighing instruments for the Argentine and Latin American markets.

Keywords: IIOT, OEE, Operations, Distribution, Industry

1. INTRODUCCIÓN

La eficiencia global de equipamiento, conocida internacionalmente como OEE, es un indicador clave de actividad que resume el mayor o menor grado de salud operativa de una organización [1]. Usualmente forma parte de los tableros de comando de mandos directivos y permite identificar, para diferentes períodos temporales, el correcto funcionamiento de la actividad.

En su denominador usualmente se establece un valor objetivo, el cual puede estar expresado en unidades físicas o en tiempo, mientras que en su numerador se indica las unidades buenas o tiempo efectivo logrado. Valores más elevados, cercanos al cien por ciento (100%), serán interpretados como una ausencia de pérdidas, también llamadas según la escuela de la manufactura esbelta *mudas*, y valores bajos despertarán una alarma que impulsará la toma de acciones correctivas. Ejemplos conocidos de mudas son: retrabajos, sobre procesamientos, generación de material defectuoso o *scrap*, paros correctivos, entre otros.

Las nuevas tecnologías aplicadas, enmarcadas bajo el concepto de industria 4.0 [2], fueron abriendo puertas a las PYMES argentinas en los últimos años a tener un conocimiento de los diferentes eventos productivos con una mayor rapidez. Si bien publicaciones tales como *Travesía 4.0: Hacia la transformación industrial argentina* (BID, 2019) indican que tan sólo una de cada diez empresas tiene implementado algún habilitador tecnológico en sus procesos en la actualidad, se espera que para comienzos del 2030 la búsqueda de competitividad a nivel global de los mercados impulse a que este nivel se duplique, como mínimo.

Tradicionalmente, la toma de información primaria operativa de planta se efectuaba en base a planillas en papel compuestas por una serie de datos diarios, tales como la identificación por código de la orden de trabajo, seguida por la pieza a fabricar, nombre del operador, turno, cantidad producida y eventos.

Para el caso de producciones continuas con tres turnos ininterrumpidos en serie, se generaban en el mismo sentido tres hojas reporte entregadas por sus respectivos líderes de equipo a la jefatura de producción o gerente de planta. Finalmente, estos datos se volcaban a formato digital en planillas históricas para su posterior procesamiento y toma de indicadores clave (KPI). La desventaja de esta forma de trabajo es que no permite, sino hasta la mañana siguiente, que el mando medio directivo tome acción, muchas veces con 24 horas de retraso frente a la aparición de una anomalía.

La incorporación de dispositivos móviles tales como tabletas con acceso Wifi a internet, acompañadas por softwares específicos de procesamiento de datos relativamente de bajo costo, permitieron a la pequeña y mediana empresa poder replantear sus sistemas de la información integrados en búsqueda de mejorar sus operaciones.

La baja inversión asociada a estos proyectos, acompañada por la presión accionaria de mejorar los estados de resultados, provocaron que muchas empresas argentinas pusieran sobre la mesa proyectos de recambios tecnológicos antes de lo previsto.

La toma de información operativa tiene carácter sensible, ya que en una gran parte de las organizaciones se encuentra asociada a una tasa de rendimiento productivo (TRP) que se refleja en las remuneraciones quincenales o mensuales del personal en planta. La concepción del sistema de la información integrada (SIG) lleva consigo una gran responsabilidad para la alta dirección y deberá adecuarse a las realidades de cada actividad para que la misma pueda brindar la información más fidedigna y justa para con su personal.

El presente trabajo buscará ilustrar, con un caso real, aspectos de diseño de proyecto de transformación digital que serán necesarios tomar en cuenta para lograr el éxito en su implementación.

Para ello, se tomará como base dos distribuciones de planta con sus particularidades: aquella denominada *por producto*, en donde la secuencia lineal de los pasos operativos no tiene mayor peso, y la distribución *por proceso* más presente en las plantas con línea de producción continua. Un ejemplo de la primera categoría es un taller mecánico, mientras que para la segunda una industria de bebidas en donde el proceso de llenado de envases siga una serie de operaciones determinadas desde la disposición de la materia prima hasta la obtención del producto terminado. Las conclusiones que se exponen en la presente publicación tienen el ánimo de aportar a las PYMES argentinas un camino de mayor claridad a la hora de tomar decisiones de implementación en este tipo de tecnologías.

2. MARCO TEÓRICO

La Industria 4.0 representa una transformación radical en los procesos de manufactura [3], impulsada por la integración de tecnologías avanzadas que fusionan el mundo físico y digital. Este concepto engloba un conjunto de tecnologías, como los sistemas ciberfísicos (CPS) [4], Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA), la robótica avanzada y la computación en la nube. Los CPS permiten monitorear y controlar procesos físicos en tiempo real, creando réplicas virtuales que facilitan la toma de decisiones descentralizada. La IA junto con IoT permite que máquinas y dispositivos se comuniquen y aprendan unos de otros, mejorando la eficiencia y reduciendo errores. La computación en la nube y el análisis de big data ofrecen acceso a vastos volúmenes de información, optimizando la producción y la cadena de suministro. Estas tecnologías se combinan para crear fábricas inteligentes, donde los procesos son más flexibles, personalizados y eficientes. La Industria 4.0 no solo mejora la productividad, sino que también facilita la adaptación rápida a las demandas cambiantes del mercado, posicionándose como un pilar esencial en la evolución hacia un futuro industrial más sostenible y competitivo. El diseño de un proyecto de transformación digital en el contexto de Industria 4.0 requiere un enfoque meticuloso que considere las particularidades de la distribución de planta. Para los dos tipos de distribución consideradas en este trabajo se exploran las potenciales mejoras en la Eficiencia Global de Equipamiento (OEE) que pueden lograrse utilizando las tecnologías aplicadas en Industria 4.0.

La distribución por producto se caracteriza por la disposición de las operaciones en función de los productos fabricados y donde cada producto puede seguir rutas diferentes dentro del taller o fábrica. Este enfoque es común en entornos de manufactura flexible como talleres mecánicos. Dentro de las tecnologías de I4.0 aplicables, las que en principio muestran mayor potencial en este caso serían IoT, análisis de datos y robótica.

En el caso de IoT, la implementación de sensores conectados puede permitir un monitoreo en tiempo real del estado de las máquinas y herramientas, mejorando la capacidad de respuesta ante fallos y optimizando el mantenimiento preventivo.

En cuanto al análisis de datos, la recolección de datos operativos, potenciada por la utilización de recursos de IoT y su análisis mediante herramientas de machine learning, permite identificar patrones que posibilitan la mejora continua, reduciendo tiempos muertos y mejorando la calidad del producto.

Por otra parte, la integración de robots, especialmente los colaborativos (cobots) puede aumentar la flexibilidad operativa, permitiendo una reconfiguración rápida de las líneas de producción para adaptarse a las variaciones en la demanda.

En una distribución por producto, la implementación de estas tecnologías puede entonces reducir significativamente los tiempos de inactividad no planificados mediante el mantenimiento predictivo, aumentando la disponibilidad de los equipos. La calidad también se ve beneficiada por el análisis de datos en tiempo real, que permite detectar defectos de manera temprana. Sin embargo, la eficiencia del conjunto podría no mejorar tan significativamente debido a la naturaleza variable y personalizada de la producción.

Por otra parte, La distribución por proceso es común en industrias con líneas de producción continua, como la industria de bebidas, donde el producto sigue una secuencia específica de operaciones. Las tecnologías que tendrían mayor impacto positivo en este caso serían IoT, automatización y control avanzado, desarrollo de gemelos digitales [4] y digitalización de la cadena de suministro.

IoT permite obtener continuamente datos de los equipos, La automatización mediante controladores analógicos y PLCs integrados en sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), junto con el procesamiento de la información mediante algoritmos de machine learning, permite un control preciso y adaptable de la línea de producción, optimizando cada etapa del proceso. También se pueden desarrollar herramientas de machine learning para mantenimiento predictivo aprovechando información obtenida mediante IoT.

Los gemelos digitales, particularmente útiles en plantas con distribución por proceso pueden simular la operación completa de la línea de producción, permitiendo probar cambios y simular situaciones de contingencia sin interrumpir la producción real. Esto mejora la planificación y reduce riesgos.

La digitalización de la cadena de suministro permitiría una coordinación más eficiente entre el aprovisionamiento de materias primas y la producción, asegurando el cumplimiento de la planificación y mejorando la eficiencia.

Comparando los efectos de la implementación de tecnologías de I4.0 en la OEE encontramos que, si la distribución es por producto, en principio parece posible lograr una mejora en la disponibilidad de los equipos y la calidad de los productos, pero solo un impacto moderado de la eficiencia. Por otra parte, si la distribución es por proceso podría lograrse en una mejora tanto en la disponibilidad de equipos, como en la calidad de producto y la eficiencia, resultando por lo tanto en una optimización global de la OEE.

3. EL PRODUCTO

El producto responde al mercado de soluciones de pesaje electrónico, abordando tres grandes líneas de clientes: comerciales, industriales y personas.

Podemos decir que es un producto de manufactura compleja porque engloba diferentes etapas compuestas por (1) una parte electrónica, que requiere equipamientos de manufactura con tecnología sofisticada, (2) otra parte de cableado interno en lo referido a alimentación eléctrica y comunicación y (3) piezas plásticas tercerizadas en inyectores por moldeo con herramentales propios para conformar el esqueleto de soporte para el ensamblaje del producto final.

4. EL MERCADO

La empresa bajo estudio, de ahora en adelante Empresa X, destina sus productos principalmente al mercado local, en un 70%, y un 30% a la exportación a países de Latinoamérica, en donde Brasil y México concentran su mayor clientela internacional. Debido a las altas exigencias de calidad en las que se ve inmersa, las soluciones ofrecidas deben constar con estándares y controles productivos adecuados para minimizar las fallas eléctricas, de diseño y funcionales.

A su vez, las regulaciones eléctricas impuestas por la IEEE, normas ISO 9001 y 14001, elevan los requisitos a ser satisfechos por las diferentes áreas.

5. EL PROCESO PRODUCTIVO

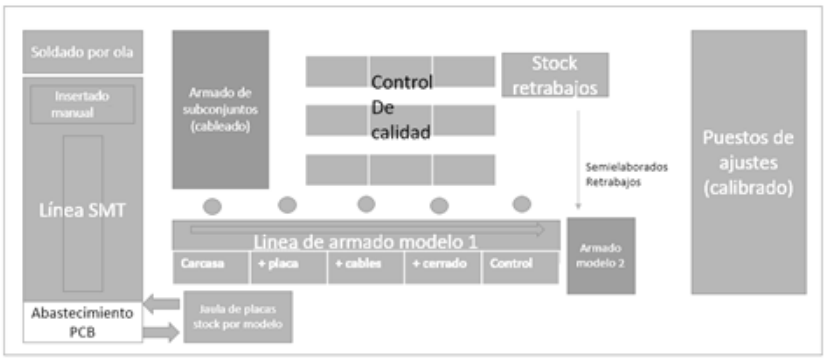


Figura 1 Lay Out de Planta

5.1 Área de soldadura

La nave productiva consta de un área de electrónica dispuesta en línea contínua, la cual comienza con una primera etapa de abastecimiento y almacenamiento de circuitos electrónicos impresos (PCBs), los cuales son diseñados durante una etapa previa por el Departamento de Ingeniería, tercerizada su fabricación en proveedores externos en la localidad de Buenos Aires, y luego recepcionados por logística con su respectivo control de calidad.

Según el lote de fabricación y modelo deseado, se abastecen los PCBs con sus respectivos circuitos a la siguiente etapa de tecnología de montaje superficial de componentes electrónicos (SMT). Allí reciben un primer tratamiento de barrido de una pasta denominada *flux* compuesta por estaño y plomo, la cual servirá como base para una posterior inserción de componentes electrónicos a muy altas velocidades

(alrededor de 5 componentes por segundo). Los mismos, se caracterizan por su bajo tamaño y peso, tales como chips SMDs, resistencias y diodos. Para finalizar, sobre una línea contínua *conveyor* los PCBs ya insertados y bañados por la mezcla de soldadura pasan a una fase de horneado a altas temperaturas, alrededor de los 250°C, para finalmente enfriarse y ser depositados en *magasines* como productos semielaborados.

Posteriormente, dichas placas procesadas por la SMT son abastecidas por los propios operarios del área, pasando a una siguiente etapa de inserción manual de componentes a los que llamaremos "pesados", tales como capacitores, *switchs* de alimentación, entre otros.

La inserción manual es acompañada por la soldadura aplicada con estaño por lápices con puntas de calentamiento eléctrico. Una vez que se finaliza dicha operación con los componentes "pesados", se pasa a una siguiente etapa llamada soldadura por olas, en donde las placas son llevadas y trasladas por cinta continua a un baño de estaño tipo cascada para terminar de asegurar la fijación de las partes en la placa PCB.

Para finalizar, las placas son recuperadas y llevadas a estaciones de control donde los diversos circuitos son testeados en probadores equipados con programas diseñados específicamente para esta función por parte del Equipo de Ingeniería.

Una vez que se asegura que las placas funcionen correctamente, son depositadas fuera del área de soldadura en un rack compuesto por gavetas plásticas de almacenaje con separadores para ser tomadas por el sector productivo de armado de balanzas en un paso posterior.

5.2 Zona de armado de cables

El siguiente semielaborado productivo que debe ser preparado para el armado de las balanzas previamente a su ensamblaje son los cables, los cuales son de diferentes diámetros según el amperaje que deban soportar, en el caso de los de alimentación, y de diferente número de pines, para el caso de aquellos destinados a la comunicación de información a ser traducida como datos de lectura en los visores del equipo (pantalla LCD) para el cliente final.

En todos los casos, los cables se componen tanto por filamentos como terminales de diferentes tipos y modelos.

Los operarios especializados en el armado de cables, toman diferentes insumos dispuestos en gavetas en su entorno y mesas de trabajo, realizando el ensamblaje y testeos de calidad de funcionamiento correspondientes, tomando principal atención al grampado de los terminales para evitar un falso contacto y asegurar su durabilidad.

Los cables terminados finalmente se agrupan por cantidades estándares por medio de bandas elásticas y dispuestos en gavetas de semielaborados terminados para su posterior utilización.

5.3 Línea de armado por proceso – Producto TIPO A

Tal es el propósito del siguiente trabajo, que se distinguirán dos diseños de flujo de proceso. En esta oportunidad, hablaremos de la línea contínua de montaje para el armado de balanzas, la cual se puede dotar de diferente cantidad de operarios, según sea el objetivo de productividad deseado. A grandes rasgos, podemos decir que en la Empresa X varía entre cuatro y seis trabajadores la dotación del personal dispuesta en forma contigua, los cuales ensamblaran partes diferentes según sea su posición en la misma, con el fin de que, en forma secuencial, vayan ensamblando partes entre sí desde una primera posición hasta la última de ajuste.

El diseño de la línea contínua por proceso corresponderá a aquel tipo de producto de la empresa con mayor demanda de ventas mensuales, que justifiquen contar con una capacidad tal que ronde los 200 equipos por turno (8 horas productivas). De ahora en más llamaremos a este producto TIPO A.

5.4 Estación de armado por producto – Producto TIPO B

Por otro lado, tendremos los productos TIPO B, en donde el volumen de producción mensual no justifica la inversión e instalación de una línea de manufactura contínua, sino que se establecerán *batchs* de producción más reducidos que para el caso anterior, del orden de 20 equipos por turno (8 horas productivas).

La distribución de este tipo de proceso se asemeja al de un taller, en donde las secuencias dentro de un mismo turno pueden verse alternadas con otras estaciones destinadas a otras funciones, según sea la necesidad de la planta en un momento determinado y por lo tanto, de una linealidad más errática en la que, según sea la necesidad puntual de la operación, pueda alternar entre realizar semielaborados como etapa inmediata posterior, o un retrabajo suministrado desde un *buffer* de productos a reparar o con insumo faltante.

5.5 Puestos de ajuste y calibrado

La etapa de ajuste y calibración corresponde a una de las últimas fases antes de la disposición del producto terminado. La misma, consiste en ser abastecida por la etapa previa de armado, Tipo A o B, para realizar testeos de funcionamiento según las exigencias de pesaje del mercado, en donde cada punto de contacto con el objeto a pesar, en las diferentes esquinas y centro, deberán arrojar el mismo valor resultado expresado en gramos [kg] y [gr].

Con dicho cometido, se utilizan piezas cilíndricas patrón en relación a cada capacidad de modelo, con asistencia de una pluma para mejor condición ergonómica del operario a cargo.

Una vez finalizados los ajustes y la calibración, el procedimiento es validado electrónicamente por el software del equipo, el cual arroja su aprobación o desaprobación de funcionamiento en forma automática.

5.6 Control de calidad

El proceso productivo está certificado bajo normas ISO 14011 e ISO 9001.

Dentro del Manual de Calidad se exige que los equipos, una vez calibrados, sean dispuestos en buffers de estacionamiento por un período de 48 horas, de modo de poder detectar durante este tiempo posibles desperfectos eléctricos de apagado o intermitencia.

Una vez cumplido este lapso, el equipo es acondicionado en su correspondiente embalaje de cartón y partes amortiguadoras, con el fin de que no se dañe al momento de distribución y transporte al intermediario o cliente final. A su vez, es identificado por una etiqueta con su respectivo número de serie para asegurar la correcta trazabilidad.

Por otro lado, el equipo es sometido por muestreo a diferentes tipos de ensayos, dentro de los cuales los funcionales adquieren mayor relevancia.

6. ANÁLISIS DE OEE POR DEFECTO

La actividad es monitoreada a nivel industrial por el OEE, también denominado eficiencia de planta, al ser considerado un indicador clave para la gestión de las operaciones.

El mismo puede ser alimentado de dos formas diferentes: sea por el seguimiento de las unidades producidas reales buenas sobre las teóricas por ciclo estándar definido, o por medio del tiempo consumido real sobre el teórico requerido, expresado en minutos u horas generalmente.

La Empresa X bajo estudio eligió en una primera instancia el seguimiento por unidades. En la Tabla A se detalla las [UN plan] como aquellas unidades planificadas, [UN realizadas] como las tomadas buenas según control de calidad, [UN capacidad] como las que deberían realizarse por unidad estándar en forma máxima. Si las [UN plan] difieren de las [UN capacidad], significará que hubo parte del mes no aprovechado por falta de demanda comercial, por ejemplo, mientras que las diferencias que se obtengan entre [UN realizadas] y [UN plan], indicarán ineficiencias en la operación, ya que hubo carga comercial, pero por algún motivo, sea productivo, humano, técnico, no se realizó lo acordado.

Según el tiempo de ciclo definido, las UN realizadas se pueden traducir en [Suma de TO], que corresponde al tiempo operativo insumido en realizar las piezas reales buenas y es, a fin de cuentas, el tiempo utilizado de manera efectiva. Su división con el tiempo total disponible que se asocia con todo aquel tiempo continuo fuera de mantenimientos y paradas preventivas o anticipadas asumidas, dará como resultado el [% Eficiencia] u OEE.

En una etapa inicial del estudio, los datos obtenidos fueron:

Tabla 1 Resultados operativos 2023 por defecto

Mes	UN plan	UN realizadas	UN capacidad	Suma de TO	MNTO	ABAS	RETRAB	Suma Fallas	% Tasa paros MNTO	% Eficiencia
2023	**51.023**	**45.017**	**61.907**	**418.134**	**7.457**	**26.708**	**0**	**34.165**	**8,17%**	**88%**
1	2.782	2.555	6.493	36.960	702	2.365	0	3.068	8,30%	**92%**
2	3.346	2.648	4.719	26.900	215	1.695	0	1.910	7,10%	**79%**
3	3.480	2.985	6.565	33.320	1.133	2.083	0	3.215	9,65%	**86%**
4	4.101	3.522	5.148	34.572	1.106	2.143	0	3.250	9,40%	**86%**
5	1.914	1.693	2.771	31.324	470	1.723	0	2.193	7,00%	**88%**
6	5.947	5.497	6.136	31.723	571	2.062	0	2.633	8,30%	**92%**
7	6.194	5.407	6.486	46.900	844	3.283	0	4.127	8,80%	**87%**
8	4.212	3.755	4.360	40.621	284	2.640	0	2.925	7,20%	**89%**
9	5.310	4.932	5.490	37.440	861	2.059	0	2.920	7,80%	**93%**
10	6.114	5.185	6.178	38.979	1.130	2.339	0	3.469	8,90%	**85%**
11	5.147	4.758	5.127	35.498	248	3.017	0	3.266	9,20%	**92%**
12	2.476	2.080	2.434	23.897	96	1.434	0	1.529	6,40%	**84%**

El OEE fue elevado, con un valor promedio anual del 88% y un volumen de 45.017 unidades producidas. Es menester tener en cuenta, a modo de referencia, que valores superiores al 80% los consideraremos buenos a nivel industrial.

Las fallas registradas rondaron los 7.457 minutos y, 26.708 minutos fueron asignados a inconvenientes de abastecimiento de insumos, que repercutieron en paros productivos por no poder avanzar con las tareas en tiempo y forma.

Nótese que la columna de retrabajos [RETRAB] se registró con 0 minutos. La explicación deriva en que los mismos existieron para el puesto del TIPO B, distribución por producto, pero al no representar un paro para el trabajo continuo del operador, no fueron registrados, sino que permanecieron ocultos por la carga del trabajo que la misma incidencia generó.

7. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Consideramos el caso de una línea operando con una distribución por proceso y uno o más puestos que tienen una distribución por producto. Para el caso en análisis la forma más eficiente de aplicar tecnologías con impacto positivo en la empresa es digitalizar las operaciones incorporando Internet de las cosas (IoT por sus siglas en inglés). Esta tecnología, que también se conoce a nivel industrial como IIoT (Industrial Internet of Things), se basa en la interconexión de dispositivos y máquinas dentro de un entorno industrial. Esta red de dispositivos conectados permite la recopilación, intercambio y análisis de datos en tiempo real, lo que facilita la toma de decisiones, la optimización de procesos y la mejora de la eficiencia operativa.

Los sensores conectados a la red envían datos con la frecuencia requerida a sistemas centralizados o a la nube, donde es posible analizarlos para identificar patrones, detectar anomalías o predecir fallos. Esto no solo mejora la eficiencia y la productividad, sino que también reduce costos y tiempos de inactividad.

Para el caso descripto se propone implementar una solución de identificación de productos en proceso utilizando códigos de barras. A cada producto se le asigna un código de barras único al inicio del proceso de producción. Este código de barras contendrá información sobre el código de producto (2 dígitos), fecha (4 dígitos), hora y minuto de fabricación (4 dígitos). En el momento en que comienza el montaje de un producto se genera una etiqueta autoadhesiva mediante una impresora Zebra o similar. La etiqueta se pega en el chasis del equipo que se está montando y lo lee el primer operario de la línea actualizando la base de datos con la información incluida en el código y, su identificación y la hora de finalización de la tarea. Los códigos de barras pueden leerse en diferentes etapas del proceso. A lo largo de la línea de producción, se instalan escáneres en los puntos donde se realizan las diferentes operaciones que leerán el código de barras y actualizarán la información de la base de datos como en

el primer caso. Esto permite registrar en qué etapa del proceso se encuentra cada producto. Si un producto necesita ser reprocesado debido a un fallo o defecto detectado el código de barras se actualizará con esta nueva información permitiendo un seguimiento continuo del estado del producto.

El sistema de identificación de códigos de barras puede integrarse con un Sistema de Ejecución de Manufactura (MES) para un control exhaustivo de la producción. Esto permite que todos los datos recopilados se almacenen y analicen, facilitando la toma de decisiones en tiempo real.

8. BENEFICIOS DE LA SOLUCIÓN PLANTEADA

Permite rastrear cada producto desde los insumos hasta el producto terminado, incluyendo cualquier etapa de reprocesamiento.

Minimiza los errores humanos en la identificación y clasificación de productos.

Mejora la eficiencia del proceso al permitir una gestión más ágil y precisa de los flujos de trabajo, ya que asegura que se mantenga un control preciso sobre cada producto en cada fase del proceso de fabricación, mejorando tanto la trazabilidad [5] como la calidad del producto final.

A partir de los datos recopilados en la base se puede calcular el OEE (*Overall Equipment Effectiveness* o Eficiencia Global de los Equipos) [6], que es una forma eficaz de medir la eficiencia de una máquina, una línea de producción o la planta completa. En el contexto de una solución de identificación de productos en proceso que utiliza códigos de barras, el OEE puede calcularse considerando tres factores clave: Disponibilidad, Rendimiento y Calidad [7].

$$OEE = \text{Disponibilidad} \times \text{Rendimiento} \times \text{Calidad} \quad (1)$$

La disponibilidad mide cuánto tiempo estuvo realmente disponible la máquina o el proceso para producir en comparación con el tiempo programado.

$$\text{Disponibilidad} = T_O / T_P \quad (2)$$

Siendo:

T_O el Tiempo de operación real o tiempo en que la máquina estuvo en funcionamiento.

T_P el Tiempo Programado, o tiempo total disponible para la producción.

En este caso, se debe considerar el tiempo que la máquina estuvo en producción, incluyendo posibles tiempos de reprocesamiento.

El rendimiento mide la velocidad a la que se produce en comparación con la capacidad máxima teórica.

$$\text{Rendimiento} = C_R / C_T \quad (3)$$

Siendo:

C_R la cantidad real producida**,** o el número total de unidades producidas

C_T la cantidad teórica máxima, o número de unidades que deberían haberse producido en ese tiempo, basado en la capacidad teórica de la máquina.

Calidad

La calidad mide la proporción de productos que cumplen con las especificaciones respecto al total de productos fabricados.

$$\text{Calidad} = U_B / U_T \quad (4)$$

Siendo:

U_B la cantidad de unidades buenas o productos que cumplen con las especificaciones sin necesidad de reprocesamiento.

U_T el total de unidades producidas, que incluye todas las unidades, tanto las buenas como las defectuosas que requieren reprocesamiento.

Un OEE menor al 100% significa que el sistema está funcionando por debajo de su capacidad óptima. Este indicador revela oportunidades de mejora en disponibilidad, rendimiento y calidad, y permite tomar decisiones informadas para optimizar el proceso.

9. ANÁLISIS DE OEE CON PROCESO CORREGIDO

A continuación, aplicaremos la solución propuesta, para dimensionar cuál es el efecto de considerar los retrabajos como tiempo improductivo. En este sentido, mismo si el operario está trabajando y aprovechando su tiempo en planta en transformar semielaborado en producto terminado, a nivel de la operación general consideraremos que no debe impactar como tiempo operativo (TO), ya que es una tarea no deseada.

Tabla 2 Resultados operativos 2023 corregidos

Mes	UN plan	UN realizadas	UN capacidad	Suma de TO	MNTO	ABAS	RETRAB	Suma Fallas	% Tasa paros MNTO	% Eficiencia
2023	**51.023**	**45.017**	**61.907**	353.846	**7.457**	**26.708**	**64.288**	**98.453**	**23,55%**	74%
1	2.782	2.555	6.493	31.046	702	2.365	5.914	8.981	24,30%	77%
2	3.346	2.648	4.719	24.614	215	1.695	2.287	4.196	15,60%	72%
3	3.480	2.985	6.565	28.155	1.133	2.083	5.165	8.380	25,15%	73%
4	4.101	3.522	5.148	28.522	1.106	2.143	6.050	9.300	26,90%	71%
5	1.914	1.693	2.771	25.372	470	1.723	5.952	8.144	26,00%	71%
6	5.947	5.497	6.136	27.123	571	2.062	4.600	7.233	22,80%	79%
7	6.194	5.407	6.486	38.693	844	3.283	8.208	12.335	26,30%	72%
8	4.212	3.755	4.360	35.137	284	2.640	5.484	8.409	20,70%	77%
9	5.310	4.932	5.490	32.573	861	2.059	4.867	7.788	20,80%	81%
10	6.114	5.185	6.178	33.327	1.130	2.339	5.652	9.121	23,40%	73%
11	5.147	4.758	5.127	28.753	248	3.017	6.745	10.010	28,20%	75%
12	2.476	2.080	2.434	20.073	96	1.434	3.824	5.353	22,40%	71%

Los resultados obtenidos son alarmantes, pasando de un OEE de *TABLA 1* del 88% anual a 12 puntos menos en *TABLA 2* del 74%.

10. CONCLUSIONES

Demostramos en el presente trabajo, que conceptualizar la operación de planta desde el punto de vista del tiempo de trabajo del operario es un error, que deriva en no tomar acciones correctivas sobre los efectos contrarios de destinar mano de obra a retrabajos, con su respectiva pérdida económica originados por horas de mano de obra directa no productiva en los resultados de la empresa.

Una vez corregida la configuración de la aplicación de registro de fallas vinculada a IIOT como facilitador de trazabilidad de operaciones, en conjunto con las etiquetas de código de barra, se registraron a nivel anual 64.288 minutos imputados a tareas no productivas en el puesto TIPO B, distribución por producto, lo que se tradujo en corregir la lectura de OEE del 88% al 74%.

La forma de solucionar el inconveniente fue notificar a la aplicación IIOT con un evento de retrabajo, al destinar tiempo de mano de obra directa en este sentido y ajustar las fórmulas de cálculo para diferenciar dos rendimientos: la tasa de ocupación del operario, y la tasa de rendimiento de planta por el otro, en donde la primera toma como válido el uso de tiempo para realizar retrabajo y la segunda lo resta del numerador del KPI (OEE).

La forma de identificar un producto en estado bueno continuo, y en estado retrabajo fue asociar dichos estados al número de serie vinculados al código de barras (único).

De no haber efectuado las correcciones mencionadas, el accionar sobre la eliminación del origen de generación de retrabajos se hubiese dilatado, asumiendo que la salud de la operación se encontraba dentro de valores aceptables.

Frente a la nueva lectura del OEE, se evidenciaron las falencias operativas y el margen de mejora en búsqueda de la optimización de los resultados.

11. REFERENCIAS

1. Ng Corrales, L. D. C., Lambán, M. P., Hernandez Korner, M. E., & Royo, J. (2020). Overall equipment effectiveness: Systematic literature review and overview of different approaches. *Applied sciences*, *10*(18), 6469.
2. Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of production economics*, *204*, 383-394.
3. Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International journal of production economics*, *210*, 15-26.
4. Tao, F., Qi, Q., Wang, L., & Nee, A. Y. C. (2019). Digital twins and cyber–physical systems toward smart manufacturing and industry 4.0: Correlation and comparison. *Engineering*, *5*(4), 653-661.
5. Schuitemaker, R., & Xu, X. (2020). Product traceability in manufacturing: A technical review. *Procedia cirp*, *93*, 700-705.
6. Ng Corrales, L. D. C., Lambán, M. P., Hernandez Korner, M. E., & Royo, J. (2020). Overall equipment effectiveness: Systematic literature review and overview of different approaches. *Applied sciences*, *10*(18), 6469.
7. Ullah, M. R., Molla, S., Siddique, I. M., Siddique, A. A., & Abedin, M. M. (2023). Optimizing performance: a deep dive into overall equipment effectiveness (OEE) for operational excellence. *Journal of industrial mechanics*, *8*(3), 26-40.

" APLICACIÓN DEL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO (AHP) PARA LA SELECCIÓN DE PROVEEDORES NACIONALES DEL SECTOR AERONÁUTICO"

Tavella, Demián Andrés – Miropolsky, Ariel – Manera, Roxana

Facultad Regional Córdoba, Universidad. Tecnológica Nacional
demitavella@hotmail.com;

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es adaptar y aplicar el método multicriterio Proceso Analítico Jerárquico, conocido como AHP por sus siglas en inglés, a fin de desarrollar un modelo integral para la toma de decisiones que permita llevar adelante la selección de proveedores aeronáuticos nacionales para diferentes proyectos de la industria aeronáutica de Córdoba. Teniendo en cuenta que este proceso adquiere vital importancia en la gestión de la cadena de suministros y gestión de operaciones de una organización.

Para ello, se aplicará la técnica en dos casos reales de desarrollo de productos aeronáuticos para varios proveedores nacionales. En donde, en una primera instancia, se realizará un estudio del estado del arte de la industria aeronáutica argentina y del método multicriterio seleccionado. Luego, se determinarán aquellos criterios esenciales a partir de los cuales se evaluaron los candidatos a proveer un producto aeronáutico. A continuación, se seleccionaron dos casos de estudio, de características diferentes, y se aplicó la técnica. Por último, se establecieron ventajas y desventajas del método en base a los resultados obtenidos.

Como conclusión, se buscó establecer la viabilidad de aplicación de esta técnica para el caso de selección de proveedores y se plantearon recomendaciones para la institución elegida respecto a un modelo de toma de decisiones para la selección de proveedores aeronáuticos nacionales, que puedan ser extrapolados a otras industrias de características similares.

Palabras Claves: Método Multicriterio, Cadena de suministro, Selección de proveedores, Aeronáutica, Sustentabilidad

ABSTRACT

The objective of this work is to adapt and apply the multi-criteria Analytical Hierarchical Process method, known as AHP, in order to develop an integral model for decision making to carry out the selection of national aeronautical suppliers for different projects of the aeronautical industry of Cordoba. Taking into account that this process is of vital importance in the management of the supply chain and operations management of an organization.

For this purpose, the technique will be applied in two real cases of aeronautical product development for several national suppliers. In the first instance, a state of the art study of the Argentine aeronautical industry and the selected multicriteria method will be carried out. Then, the essential criteria from which to evaluate the candidates to supply an aeronautical product will be determined. Then, two case studies, with different characteristics, will be selected and the technique will be applied. Finally, advantages and disadvantages of the method will be established based on the results obtained.

In conclusion, the aim is to establish the feasibility of applying this technique to the case of supplier selection and to make recommendations for the chosen institution regarding a decision-making model for the selection of national aeronautical suppliers, which can be extrapolated to other industries with similar characteristics.

Keywords: Multicriteria Method, Supply Chain, Supplier Selection, Aeronautics, Sustainability

1. INTRODUCCIÓN

La actividad aeronáutica en Argentina se remonta a más de un siglo, comenzando en 1907 con los vuelos en globos aerostáticos y ganó importancia en el sector militar con la creación de la Fábrica Militar de Aviones, en la ciudad de Córdoba en 1927, que se convirtió con el tiempo en un referente industrial del país y de Sudamérica (Ministerio de Defensa, 2022). Sin embargo, factores históricos, económicos y políticos afectaron negativamente la capacidad de producción y el conocimiento en el sector. Para revertir esta tendencia, se promulgó la Ley 27.565 en 2020, creando el Fondo Nacional de la Defensa (FONDEF), destinado a financiar el reequipamiento de las Fuerzas Armadas y fomentar la industria nacional (Gobierno de Argentina, 2020).

El desafió entonces es desarrollar un modelo de selección de proveedores que permita aprovechar los impulsos del FONDEF, además, en este punto resulta importante que el sistema de aprovisionamiento sea sustentable, entiéndase esto como aquellas operaciones de grandes volúmenes realizadas por grandes empresas y organismos estatales y/o de gobierno que tienen en cuenta criterios ambientales y sociales para evaluar y seleccionar sus adquisiciones (Peinado-Vara, 2011)

En este contexto la Fabrica Argentina de Aviones “Brig. San Martín” (FAdeA) juega un papel clave en este proceso, colaborando con PYMEs locales para sustituir importaciones de materiales aeronáuticos (Ministerio de Defensa, 2022).

En base a lo anterior, se decidió tomar como caso testigo los proyectos de FAdeA, ya que potenciados con la implementación del FONDEF, tiene la posibilidad de contratar proveedores locales que suministren materiales aeronáuticos que históricamente fueron adquiridos en el exterior.

Uno de los métodos que mejor se adaptaría a este escenario, está relacionado a las técnicas multicriterio, también conocidas como de lógica difusa, pues su análisis se basa fundamentalmente en aspectos cualitativos, además de los cuantitativos, pudiendo incluir una gran cantidad y variabilidad de parámetros que luego serán evaluados pertinentemente. Dentro de estos, se destaca el método de Proceso Analítico Jerárquico (AHP), siendo uno de los de mayor aplicación en la actualidad.

2. MÉTODOS MULTICRITERIOS

2.1 Método de Proceso Analítico Jerárquico (AHP)

El AHP, mediante la construcción de un modelo jerárquico, permite de una manera eficiente y gráfica organizar la información respecto de un problema, descomponerla y analizarla por partes, visualizar los efectos de cambios en los niveles y sintetizar.

El AHP “trata de desmenuzar un problema y luego unir todas las soluciones de los sub problemas en una conclusión” (Saaty, 1980) (Martinez Rodriguez, 2007).

El AHP se fundamenta en:

- La estructuración del modelo jerárquico (representación del problema mediante identificación de meta, criterios, sub-criterios y alternativas);
- Priorización de los elementos del modelo jerárquico;
- Comparaciones binarias entre los elementos;
- Evaluación de los elementos mediante asignación de pesos;
- Ranking de las alternativas de acuerdo con los pesos dados;
- Síntesis;
- Análisis de Sensibilidad.

El AHP es una herramienta metodológica que ha sido aplicada en varios países para incorporar las preferencias de actores involucrados en un conflicto y/o proceso participativo de toma de decisión.

2.1.1 Axiomas Básicos

Los axiomas básicos en los que se basa la teoría AHP (García Cascales, 2009) son:

- Axioma de comparación recíproca: El decisor debe ser capaz de realizar comparaciones y establecer la fuerza de sus preferencias, satisfaciendo la condición recíproca: "Si A es x veces preferido que B, entonces B es 1/x veces preferido que A".
- Axioma de homogeneidad: "Las preferencias se representan por medio de una escala limitada".

- Axioma de independencia: "Cuando se expresan preferencias, se asume que los criterios son independientes de las propiedades de las alternativas".
- Axioma de las expectativas: "Para el propósito de la toma de una decisión, se asume que la jerarquía es completa".

2.1.2 Base metodológica

Este proceso se fundamenta en varias etapas. La formulación del problema de decisión en una estructura jerárquica es la primera y principal etapa. Esta etapa es en la que el decisor involucrado debe lograr desglosar el problema en sus componentes relevantes. La jerarquía básica está conformada por: meta u objetivo general, criterios y alternativas. La jerarquía se construye de modo que los elementos de un mismo nivel sean del mismo orden de magnitud y puedan relacionarse con algunos o todos los elementos del siguiente nivel. En una jerarquía típica el nivel más alto localiza el problema de decisión (objetivo). Los elementos que afectan a la decisión son representados en los inmediatos niveles, de forma que los criterios ocupan los niveles intermedios, y el nivel más bajo comprende a las opciones de decisión o alternativas. Este tipo de jerarquía ilustra de un modo claro y simple todos los factores afectados por la decisión y sus relaciones. En la siguiente figura se muestra un esquema del modelo jerárquico (Martinez Rodriguez, 2007).

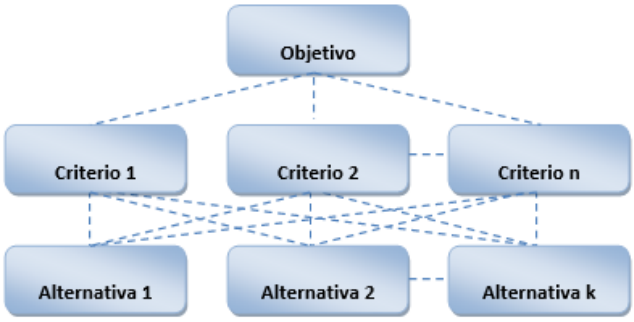


Figura 1 Esquema de modelo jerárquico (García Cascales, 2009)

La jerarquía resultante debe ser completa, no redundante y mínima (no debe incluir aspectos no relevantes). Su construcción es la parte más creativa del proceso y requiere de un consenso entre todas las partes implicadas en el proceso de decisión.

Una vez construida la estructura jerárquica del problema se da paso a la segunda etapa del proceso de AHP: la valoración de los elementos.

El decisor debe emitir sus juicios de valor o preferencias en cada uno de los niveles jerárquicos establecidos. Esta tarea consiste en una comparación de valores subjetivos «por parejas» (comparaciones binarias); es decir, el decisor tiene que emitir juicios de valor sobre la importancia relativa de los criterios y de las alternativas, de forma que quede reflejado la dominación relativa, en términos de importancia, preferencia o probabilidad, de un elemento frente a otro, respecto de un atributo, o bien, si estamos en el último nivel de la jerarquía, de una propiedad o cualidad común. El AHP permite realizar las comparaciones binarias basándose tanto en factores cuantitativos (aspectos tangibles) como cualitativos (aspectos no tangibles), ya que presenta su propia escala de medida: la escala 1-9 propuesta por Saaty y recogida en el cuadro que se presenta más abajo.

Tabla 1 Escala fundamental de comparación pareada (García Cascales, 2009)

Intensidad	*Definición*	*Explicación*
1	Igual importancia.	Los dos elementos contribuyen igualmente a la propiedad o criterio.
3	Moderadamente más importante un elemento que en otro.	El juicio y la experiencia previa favorecen a un elemento frente al otro.
5	Fuertemente más importante un elemento que en otro.	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente al otro.

7	Mucho más fuerte la importancia de un elemento que la del otro.	Un elemento domina fuertemente. Su dominación está probada en práctica.
9	Importancia extrema de un elemento frente al otro.	Un elemento domina al otro con el mayor orden de magnitud posible.
2,4,6,8	Valores intermedios.	Cuando se necesita un compromiso de las partes entre valores subyacentes.

El decisor puede expresar sus preferencias entre dos elementos verbalmente y representar estas preferencias descriptivas mediante valores numéricos.

De esta forma cuando dos elementos sean igualmente preferidos o importantes el decisor asignará al par de elementos un «1»; moderadamente preferido se representa por «3», fuertemente preferido por «5» y extremadamente preferido por «9». Los números pares se utilizan para expresar situaciones intermedias.

El resultado de estas comparaciones es una matriz cuadrada, recíproca y positiva, denominada «Matriz de comparaciones pareadas», de forma que cada uno de sus componentes reflejen la intensidad de preferencia de un elemento frente a otro respecto del atributo considerado.

Una vez formadas las matrices de comparación, el proceso deriva hacia la tercera etapa, la fase de priorización y síntesis. El objetivo de esta etapa es calcular la prioridad de cada elemento, entendida esta prioridad tal y como la definió Saaty en 1980: «Las prioridades son rangos numéricos medidos en una escala de razón. Una escala de razón es un conjunto de números positivos cuyas relaciones se mantienen igual si se multiplican todos los números por un número arbitrario positivo. El objeto de la evaluación es emitir juicios concernientes a la importancia relativa de los elementos de la jerarquía para crear escalas de prioridad de influencia» (Martinez Rodriguez, 2007).

En un problema jerarquizado, como el que se presenta podemos definir distintos tipos de prioridades: locales, globales y totales. Las prioridades locales son las que «cuelgan» de un mismo nodo y se calculan directamente a partir de la información recogida en las matrices de comparación. Existen distintos procedimientos matemáticos para calcular un vector de pesos relativos asociado a un nivel, vector que debe expresar la importancia relativa de los elementos considerados en ese nivel. El procedimiento propuesto por Saaty para su obtención es el método del auto vector principal por la derecha.

Las prioridades globales son las prioridades de cada nodo de la jerarquía respecto al nodo inicial (objetivo). El AHP las calcula utilizando el principio de composición jerárquica. Por último, la prioridad total de las alternativas comparadas se obtiene mediante la agregación de las prioridades globales (forma lineal multi aditiva). La prioridad total nos permitirá realizar la síntesis del problema, esto es, ordenar el conjunto de alternativas consideradas y seleccionar las más indicadas para conseguir el objetivo propuesto.

Un aspecto que debemos cuidar es que el resultado debe ser consistente con las preferencias manifestadas por el decisor, ya que ésta es una cuestión que afecta directamente a la calidad de la decisión final. El AHP permite evaluar la consistencia del decisor a la hora de introducir los juicios de valor en la matriz de comparaciones pareadas mediante el indicador «Razón de Consistencia».

La última etapa de este proceso, es el denominado análisis de sensibilidad. El resultado al que se llega en la etapa anterior es altamente dependiente de la jerarquía establecida por el decisor y por los juicios de valor que realiza sobre los diversos elementos del problema.

Cambios en la jerarquía sobre estos juicios pueden conducir a cambios en los resultados. La utilización de un software de apoyo (Super decisions CDF) permite analizar de forma rápida y sencilla la sensibilidad de los resultados (decisión) a los diferentes cambios posibles, permitiendo analizar el problema en escenarios distintos.

2.1.3 Aplicación de software Super Decision CFS

El Super Decisions es un software de soporte de decisiones que implementa AHP y ANP. Es el único software educativo gratuito que implementa AHP y ANP y fue desarrollado por el equipo del creador del método, Thomas Saaty. Su desarrollo y mantenimiento está patrocinado por Creative Decisions Foundation. (Super decisions CFS, 2023)

La Creative Decisions Foundation fue establecida en 1996 por Thomas L. Saaty y su esposa Rozann Whitaker Saaty, con el concepto de fundación con el propósito de educar a las personas en el mundo para ayudarlos a tomar decisiones más racionales.

Este software proporciona herramientas para crear y administrar modelos AHP y ANP, ingresar sus juicios, obtener resultados y realizar análisis de sensibilidad en los resultados. También proporciona soporte para modelos BOCR complejos y multinivel (Beneficios - Oportunidades - Costos - Riesgos). (Super decisions CFS, 2023).

3. SELECCIÓN DE CRITERIOS PARA MODELOS DE DECISIÓN

Para lograr definir los principales criterios para la selección de proveedores que luego fueron incorporados en el AHP se llevó adelante una entrevista a actores claves de la empresa FAdeA SA.

La entrevista fue de tipo semi-estructurada, con un total de 15 preguntas iguales para todos, algunas de carácter cerrado y otras abiertas, con el objetivo de que los consultados explayen su punto de vista y experiencias que pueden ser enriquecedoras para este estudio.

El motivo de elección de este tipo de entrevista versus la no-estructurada es que permite un mayor grado de comparación entre visiones paralelas y la posibilidad de darle una capacidad de medición a ciertas variables subjetivas, es decir permite recoger datos para describir cuantitativamente una determinada situación social que no se conoce lo suficiente como para usar un cuestionario clásico de preguntas cerradas, además de que los entrevistados están poco acostumbrados al lenguaje abstracto y científico de este tipo de estudio, pudiendo mediante este tipo de herramienta sobrellevar estas dificultades. (Corbetta, 2007)

Respecto a la entrevista estructurada, la ventaja es que permite plantear interrogantes que tienen como propósito la mejor comprensión del problema, mediante la restructuración de las preguntas y rearmado de contextos en la indagación con mayor profundidad. (Rodríguez Pérez, Guerrero Godoy, Varon Arciniega, & Baron-Velandia, 2021)

En base a las entrevistas realizadas, se decidió tener en cuenta 10 criterios para evaluación de los casos presentados:

- Propuesta técnica: Se entiende por la robustez de la propuesta detallada de cómo va a realizar el producto, pieza o componente, presentada por el proveedor. Para evaluar la misma se tiene en cuenta que atienda la especificación técnica compartida, además del nivel de detalle de soluciones que presente.
- Cronograma: Se refiere al tiempo de ejecución de la pieza o elemento que se busca contratar. La misma puede incluir varias etapas intermedias, como puede ser aprobación sobre el concepto a realizar, aprobación y validación final del diseño a fabricar, diferentes validaciones durante el proceso de fabricación, puntos de medición y control, etapas de ajuste, envío del material, piezas o elementos, entre otros
- Capacidad de producción y proceso de fabricación: Hace referencia entre otras cosas a la capacidad instalada y capacidad ociosa, tecnologías y maquinarias disponibles, procesos productos posibles de realizar en las instalaciones del potencial proveedor.
- Certificaciones y calificaciones: Hace referencia a las certificaciones y calificaciones que dispone el proveedor, buscando como ideal que todos los proveedores estén evaluados bajo la norma AS9100, que es la que certifica que una organización diseña, desarrolla y proporciona productos y servicios de aviación, espacio y defensa.
- Experiencia – Know How del proveedor: Siempre se busca que el proveedor a contratar haya tenido experiencia o con alguna organización del rubro aéreo o aeroespacial, o que conozca y haya trabajado con la tecnología o producto buscado.
- Compromiso ante consultas: Se entiende que este punto está ligado al compromiso que tiene el proveedor para atender las diferentes consultas técnicas ante los avances y puntos críticos que debería cumplir el proveedor.
- Precios: Se considera al precio ofrecido por el proveedor. El precio ideal será mejor al precio objetivo o target establecido por el equipo de programa para el proyecto.
- Forma de Pago: Se considera la forma de pago del material, pudiendo ir desde 100% (cien por ciento) anticipado, hasta todo diferido posterior a la entrega del producto.

- Relación Comercial: Hace referencia a la relación que existe entre una organización y los proveedores. Si bien es similar al punto “compromiso ante las consultas” esto punto tiene en cuenta cuestiones comerciales, logísticas y de calidad.
- Salud financiera: En este punto se tiene en cuenta la capacidad financiera para asumir compromisos ante futuras compras. El mismo sale de una evaluación realizada en base a los balances, estado de resultados, informe de deuda del BCRA, informe del veraz, entre otros. Lo ideal es encontrar un proveedor solvente para afrontar futuros compromisos que implicará grandes erogaciones de dinero.

4. CASO DE ESTUDIO

Como caso de estudio se seleccionaron dos desarrollos realizados en la empresa testigo, que involucran la selección de proveedores a saber:

- Compra de la bancada de motor para el avión IA100B.
- Compra del utillaje o dispositivo de armado del grupo empenaje del avión IA100B, compuesto por los dispositivos para armado del estabilizador horizontal y timón de profundidad.

4.1 Caso Bancada motor

La bancada es el órgano que constituye la parte inferior del motor de cualquier tipo, sirve de soporte para las piezas en movimiento y de muro de contención para el aceite lubricante.

La bancada del motor, es definida en función del tipo de motor a utilizar y la configuración que el diseñador adopta en cada caso. De manera particular una bancada debe ser diseñada en función de los requerimientos definidos para su uso en cada aeronave. Estos requerimientos estructurales y conceptuales varían según la normativa aplicada. (Pergolini, 2015).

Lo importante a definir aquí son los participantes del estudio que para el método serán las diferentes alternativas evaluadas. Para este caso, en total se invitaron a 6 proveedores diferentes, todos nacionales, que se indicarán con los siguientes nombres de fantasía, debido al concepto de confidencialidad que existe con la empresa testigo.

- Proveedor H
- Proveedor C
- Proveedor PG
- Proveedor Con
- Proveedor DA
- Proveedor AWI

4.2 Caso Dispositivo de Armado del Grupo Empenaje del Avión

Se llama ‘empenaje de cola’ de un avión al conjunto de planos de control, o estabilizadores, que se encuentran en la parte trasera de una aeronave. Es decir, cuando hablamos de ‘empenaje’, nos referimos a la estructura formada por los elementos de estabilización, sobre todo planos de profundidad y derivas. (One Air, s.f.). El empenaje incluye el grupo de cola entera y se compone en términos generales de superficies fijas, como el estabilizador vertical y el estabilizador horizontal y superficies móviles entre las que se encuentran el timón de dirección, el elevador o timón de profundidad, y uno o más compensadores.

Para este proyecto se invitaron en total a 3 proveedores que se tomaron para realizar la comparativa:

- Proveedor INM
- Proveedor INF
- Proveedor MOS

5. APLICACIÓN DEL PROCESO ANÁLITICO JERÁRQUICO

A continuación, se aplicó el método de jerarquía analítica, también conocido como AHP, para realizar la selección de proveedores.

Cabe destacar que en este caso se utilizó el software Super DecisionsV3.2 (Super decisions CFS, 2023) para Windows.

El motivo de elección del mismo se sustentó en que por un lado facilita el desarrollo del cálculo, ya que el programa solo pide el ingreso de los datos, y da el valor resultante y por el otro, es un software que se basa en los criterios de AHP, mundialmente conocido, con la ventaja de ser de uso libre para aquellos que lo deseen, disponible en: https://www.superdecisions.com

Por estas razones se lo consideró ideal para realizar los estudios de selección de proveedores.

5.1 Aplicación Caso Bancada motor

5.1.1 Planteo del problema

Siendo la meta global “seleccionar proveedor de bancada de motor” se utilizaron iguales factores y alternativas

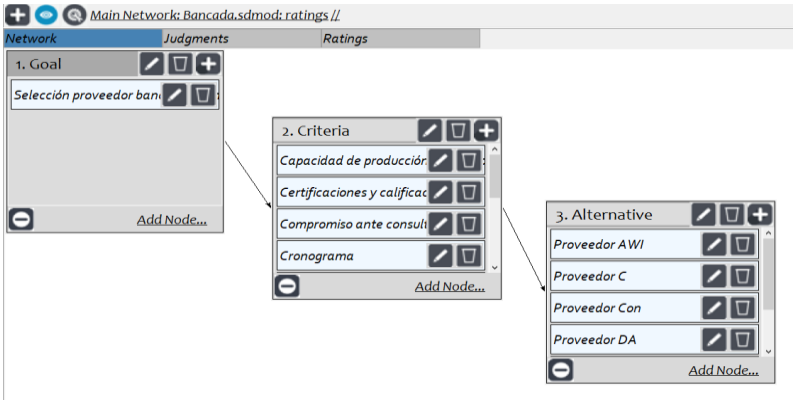


Figura 2: Planteo del problema y modelo de Bancada de Motor

5.1.2 Matriz de comparación por pares

Se procedió a realizar las comparaciones pareadas entre los factores del análisis con el fin de asignar la ponderación correspondiente a cada uno, de los cual surge la matriz de comparaciones de los factores de selección representado en figura 3 y posteriores resultados demostrados la figura 4.

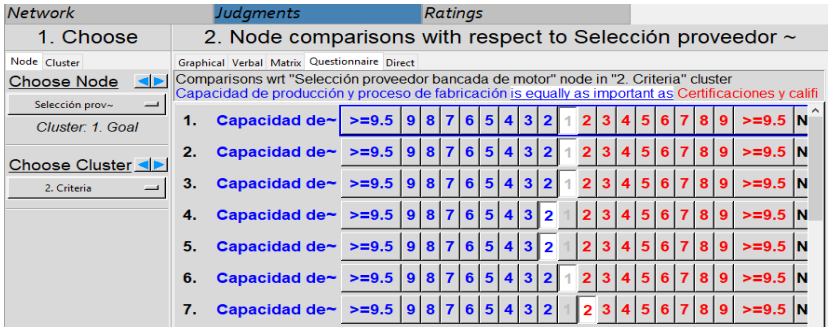


Figura 3: Matriz de comparación de factores de selección respecto del objetivo bancada de motor.

Los resultados obtenidos del análisis de pares se pueden observar en la siguiente figura:

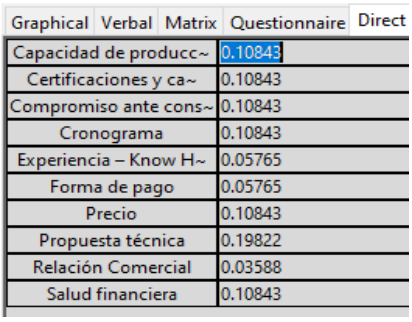


Figura 4: Resultados numéricos matriz de comparación de factores de selección respecto del objetivo bancada de motor.

A su vez el software permite mostrar el resultado del índice de inconsistencia. Recordando que se recomienda que los valores estén por debajo de 0,1 para validar el nivel de consistencia en los juicios emitidos.

Los resultados en forma gráfica para este caso se pueden apreciar en la figura 5.

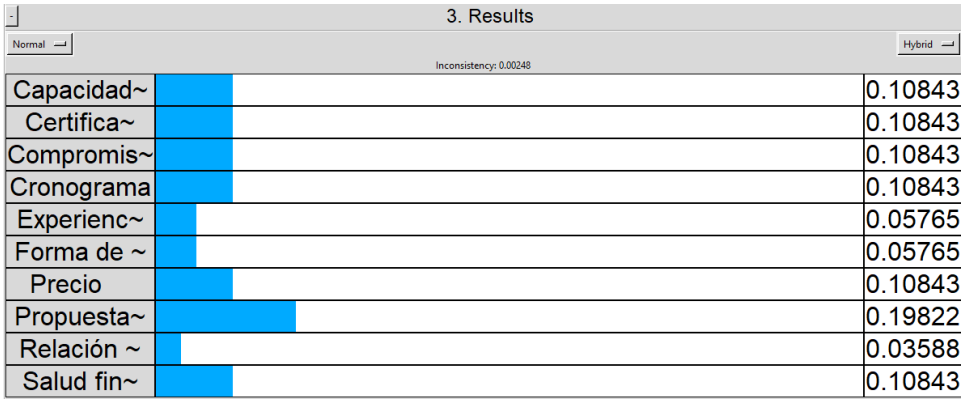


Figura 5: Resultados y nivel de inconsistencia de la matriz de comparación de factores de selección respecto del objetivo bancada de motor

5.1.3 Matriz de comparación de pares por alternativas

Para cada uno de los aspectos a evaluar, se realizó una comparación entre los diferentes proveedores propuestos, basándose en el principio explicado anteriormente.

Así se obtuvieron diez matrices distintas, para cada una de las variables a analizar, con las correspondientes comparaciones de las empresas que se presentaron al proceso de adjudicación para el producto bancada de motor.

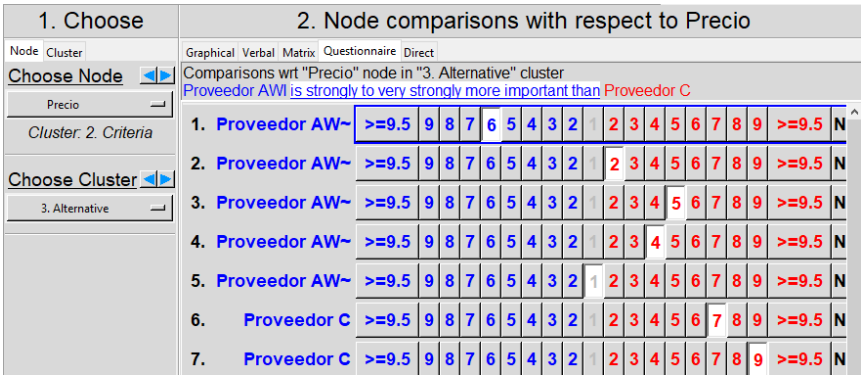


Figura 6: Matriz de comparación de potenciales proveedores respecto del criterio de precio bancada de motor

A su vez cada una de estas matrices arrojó sus correspondientes resultados como se explicó para el caso anterior.

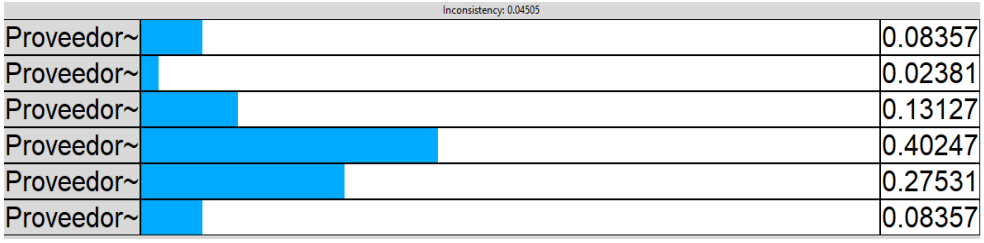


Figura 7: Resultados y nivel de inconsistencia matriz de comparación de potenciales proveedores respecto del criterio de precio bancada de motor

5.1.4 Resolución del problema

Como resultado final del proceso de AHP, se obtuvo un vector de prioridades, el cual contiene las valoraciones finales asignadas a cada factor de selección respecto a la meta global. Posteriormente, se realizó el mismo proceso, pero comparando alternativas respecto de cada factor de selección, del que surge una matriz de comparación para cada uno de los factores intervinientes y luego los vectores de prioridades correspondientes a cada matriz. Con estos últimos y con el vector de prioridad obtenido inicialmente, se obtuvo el resultado final que se expresa en forma gráfico en Figura8.

Name	Graphic	Ideals	Normals
Proveedor AWI		0.828711	0.196849
Proveedor C		0.909882	0.216131
Proveedor Con		0.489773	0.116339
Proveedor DA		0.540040	0.128280
Proveedor H		1.000000	0.237537
Proveedor PG		0.441465	0.104864

Figura 8: Resultado del análisis – Selección de proveedor bancada de motor

5.1.5 Toma de decisión

Del análisis de la matriz de comparación por pares surgió con claridad, que de los proveedores que se presentaron para la fabricación de bancada de motor, el identificado como proveedor H, se destaca sobre los demás con una calificación de 0,237537 o 23,75%. Así mismo, se evidencia como menos adecuado el proveedor PG, pues su calificación alcanza solamente el 0,1048642 o 10,49%. En términos de comparaciones si el proveedor H se considera como ideal con un porcentaje del 100% el proveedor PG alcanzaría un valor de 44% comparado con H, esto se puede ver en la columna “Ideals” de la figura anterior.

De los otros 4 proveedores se observa un valor similar en las posiciones 2 y 3, siendo el segundo mejor el proveedor C, con 21,61% y lo sigue el proveedor AWI con 19,68%. Por otra parte, el proveedor DA se ubica en la cuarta posición con un 12,83% y por último en quinto lugar el proveedor Con 11,63%.

En conclusión, se recomendó seleccionar el proveedor H para adjudicar el proyecto bancada de motor. En caso que este proveedor muestre deficiencias durante el proceso de fabricación se debería contemplar en un primer lugar al proveedor C y luego al proveedor AWI.

5.2 Aplicación en caso dispositivo de armado de empenaje de cola

5.2.1 Planteo del problema

Siendo la meta global “seleccionar proveedor de dispositivo de armado de empenaje de cola” se utilizaron iguales factores y alternativas.

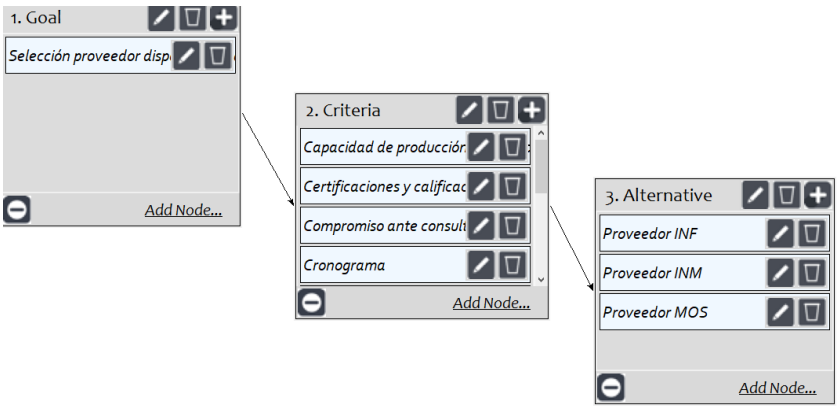


Figura 9: Planteo del problema y modelo de dispositivo de armado de empenaje de cola

5.2.2 Matriz de comparación por pares

Se procedió a realizar las comparaciones pareadas entre los factores del análisis con el fin de asignar la ponderación correspondiente a cada uno, de los cual surge la matriz de comparaciones de los factores similar a la mostrada para el caso anterior.

A su vez el software permite mostrar el resultado del índice de inconsistencia. Recordando que se recomienda que los valores estén por debajo de 0,1 para validar el nivel de consistencia en los juicios emitidos.

Los resultados en forma gráfica para este caso se pueden apreciar en la siguiente figura.

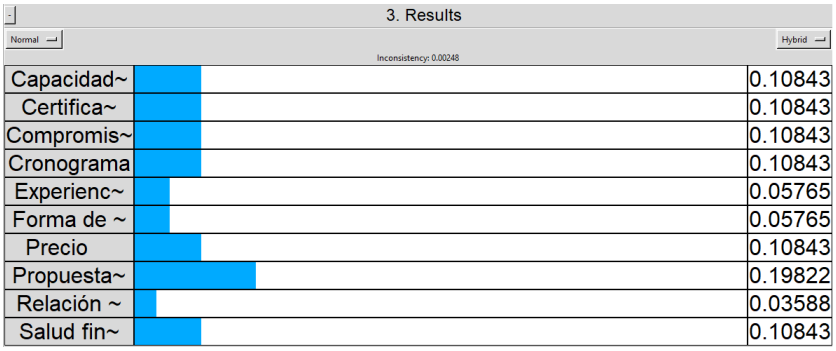


Figura 10: Resultados y nivel de inconsistencia de la matriz de comparación de factores de selección respecto del objetivo dispositivo de armado de empenaje de cola.

5.2.3 Matriz comparación por pares de las alternativas

Para cada uno de los aspectos a evaluar, se realizó una comparación entre los diferentes proveedores propuestos, basándose en el principio explicado anteriormente.

Así se obtuvieron nuevamente diez matrices distintas, para cada una de las variables a analizar, con las correspondientes comparaciones de las empresas que se presentaron al proceso de adjudicación para el dispositivo de armado del empenaje de cola. A su vez cada una de estas matrices arrojará sus correspondientes resultados como se explicó para el caso anterior.

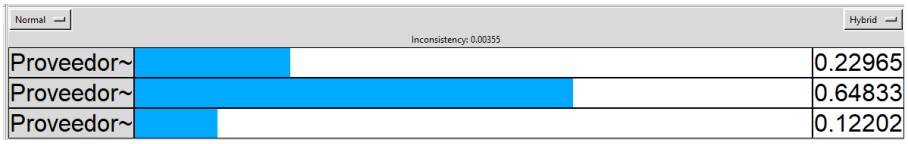


Figura 11: Resultados y nivel de inconsistencia matriz de comparación de potenciales proveedores respecto del criterio de cronograma dispositivo de armado de empenaje de cola.

5.2.4 Resolución del problema

Como resultado final del proceso de AHP, se obtuvo un vector de prioridades, el cual contiene las valoraciones finales asignadas a cada factor de selección respecto a la meta global. Posteriormente, se realizó el mismo proceso, pero comprando alternativas respecto de cada factor de selección, del que surge una matriz de comparación por cada uno de los factores intervinientes y luego los vectores de prioridades correspondientes a cada matriz. Con estos últimos y con el vector de prioridad obtenido inicialmente, se obtuvo el resultado final que se expresa en forma de gráfico en:

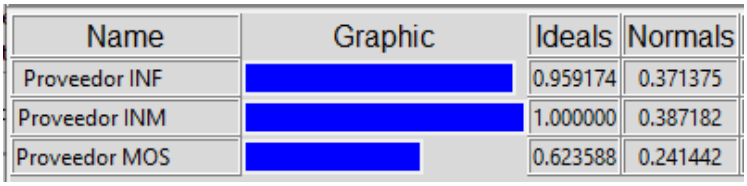


Figura 12: Resultado del análisis – Selección de proveedor de dispositivo de armado de empenaje de cola

5.2.5 Toma de decisión

Del análisis de la matriz de comparación por pares surgío que hay dos proveedores que tienen valores muy cercanos y uno que realmente queda fuera de la competencia.

El proveedor con mejor valor resulta ser el proveedor INM que alcanza una calificación de 0,387182 0 38,72%. En segundo lugar, lo sigue el proveedor INF con un puntaje de 0,371375 o 37,14%.

Si tomamos el valor obtenido por INM como un 100%, se puede ver en la columna “Ideals” que el proveedor INF alcanzaría un 95,92% respecto a este 100% lo que muestra valores realmente cercanos entre ambos.

A pesar de ser valores cercanos, se mantiene al proveedor INM como ganador ya que durante todo el análisis el índice de inconsistencia siempre estuvo debajo del 10% en cada uno de los criterios marcados, lo que demuestra un nivel de certeza a la hora de la evaluación de los juicios.

Por último, se muestra el proveedor MOS que alcanza un valor de 24,14%, aunque si lo comparamos con el valor ideal del proveedor INM se considera que este alcanzaría un valor del 62% del mismo.

En conclusión, se recomiendó seleccionar el proveedor INM para adjudicar el proyecto de dispositivo de armado de empenaje de cola. En caso de que este proveedor muestre deficiencias durante el proceso de fabricación se debería contemplar en un segundo lugar al proveedor INF y luego al proveedor MOS.

6. CONCLUSIONES

Luego de haber aplicado la técnica de AHP para dos casos de selección de proveedores de la industria aeronáutica se establece que el mismo posee varias ventajas y desventajas. Algunas de sus ventajas son (Toskano Hurtado, 2005) (Garcia Cascales, 2009):

- El Proceso de jerarquía analítica es una de las pocas técnicas multicriterio que ofrece una axiomática teórica.
- Esta técnica multicriterio es una de las que mejor comportamiento práctico tiene.
- Permite desglosar y analizar el problema por partes.
- Permite medir criterios cualitativos y cuantitativos
- Permite analizar la consistencia de los juicios elaborados, mediante el índice de consistencia.
- Permite realizar un análisis de sensibilidad.
- El AHP proporciona un modelo flexible, único fácilmente comprensible, para una amplia gama de problemas estructurados.
- A través de esta técnica se pueden integrar enfoques deductivos y de sistemas para resolver problemas complejos.
- Mediante este método se refleja la tendencia natural de la mente a clasificar elementos de un sistema en diferentes niveles y a agrupar elementos similares es en cada nivel, es decir de establecer una estructura jerárquica.
- El AHP proporciona una escala para medir imponderables y un método para establecer orden de prioridades.
- Mediante la aplicación del AHP, se logra estimar la conveniencia de cada alternativa.
- Ya que el AHP toma en consideración las prioridades relativas de los factores en un sistema, esto le permite seleccionar la mejor alternativa en virtud de objetivos.
- El proceso de jerarquía analítico no solicita consenso, pero sintetiza un resultado representativo de diversos juicios.
- Mediante la repetición del proceso el AHP permite que la gente afine su definición de un problema y mejore su juicio y comprensión.

A pesar de las ventajas descriptas arriba el método posee algunas desventajas (Garcia Cascales, 2009), ellas son:

- La justificación de la independencia exigida en la modelización jerárquica.
- La escala empleada para expresar los juicios relativos en las comparaciones pareadas, no permite observar el porcentaje del óptimo al que se encuentra la alternativa.
- Por lo expresado anteriormente, pueden surgir problemas para la interpretación de las prioridades totales obtenidas en el procedimiento.
- Los procedimientos de priorización de los elementos mediante el cálculo del auto vector.

- La introducción de una nueva alternativa puede poner de manifiesto alguna inconsistencia en los juicios o hacer variar la estructura de preferencias del decisor.

En términos generales se puede decir que el proceso de jerarquía analítico (AHP) resulta bastante complejo en sus cálculos, pero la disponibilidad de un software gratuito como el “Super DecisionsV3.2” facilita su implementación. Una gran fortaleza del método, es la posibilidad del cálculo del índice de consistencia, lo que permite medir el grado de inconsistencia de los juicios emitidos por el evaluador, ayudando a aquellos que sean poco experimentados en esta actividad.

En función a lo anterior, se puede destacar que el método se adapta a los estudios de selección, ya que permiten incluir en el estudio múltiples variables, necesarias para realizar un estudio de selección de proveedores.

Además, podrá ser extrapolado luego a otros proyectos de la industria de la Defensa Nacional, como también a proyectos civiles que impliquen la selección de proveedores en un proceso multivariable.

7. REFERENCIAS.

Corbetta, P. (2007). Metodologia y técnicas de investigación social. Madrid: Mc Graw- Hill.

Garcia Cascales, M. (2009). Métodos para la comparación de alternativas mediante un Sistema de Ayuda a la Decisión (S.A.D.) y "Soft Computing". Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cartagena, Departamento de Electrónica, Tecnología de Computadoras y proyectos, Cartagena.

García Cascales, M. (2009). Métodos para la comparación de alternativas mediante un Sistema de Ayuda a la Decisión (S.A.D.) y "Soft Computing". Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cartagena, Departamento de Electrónica, Tecnología de Computadoras y proyectos, Cartagena.

Gobierno de Argentina. (2020). Fondo Nacional de la Defensa - Ley 27565. Obtenido de Boletín Oficial de la República Argentina: https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/235602/20201001

Martinez Rodriguez, E. (2007). Aplicación del proceso jerárquico de análisis en la selección de la localización de una pyme. (R. C. Universitario, Ed.) Anuario Jurídico y Económico Escurialense, 19.

Ministerio de Defensa. (Mayo de 2022). Nuestra Historia. Obtenido de Fuerza Aérea Argentina: https://www.argentina.gob.ar/fuerzaaerea/nuestra-historia

One Air. (s.f.). El empenaje de cola en un avión: ¿Sabías que hay muchos tipos diferentes? Recuperado el 10 de Diciembre de 2022, de One Air Web site: https://www.oneair.es/empenaje-de-cola-aviones/

Peinado-Vara, E. (2011). Cap. 7 RSE, grandes compradores y la cadena de valor. En E. Peinado-Vara, Vives, & A, La responsabilidad social empresaria en América Latina. Washington D.C.: Peinado-Vara, E; Vives; A.

Pergolini, A. M. (20 de mayo de 2015). Diseño y Dimensionamiento de una Bancada Motor. Obtenido de Trabajo Final de Grado - Instituto Universitario Aeronático: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/TFG_Pergolini.pdf

Rodríguez Pérez, J. A., Guerrero Godoy, R. S., Varon Arciniega, V., & Baron-Velandia, B. (25 de Marzo de 2021). Transformaciones de las prácticas pedagógicas de los profesionales no licenciados. (U. P. Libertador, Ed.) Educare. Obtenido de http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/375/3752262008/html/

Saaty, T. (1980). The analytic hierarchy process. McGraw-Hill.

Super decisions CFS. (2023). Tutorials. Obtenido de https://www.superdecisions.com/tutorials/

Toskano Hurtado, G. B. (2005). El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como Herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores. Monografía, Universidad Nacional de San Marcos, Facultad de Ciencias Matemáticas E.A.P Investigación Operativa, Lima.

"MODELACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE EN LA ESTIMACIÓN DE VENTAS"

Ruano-Castañeda, Hugo Ivan[1]; Garcia-Huerta, Ana Lizbeth[1]; Castillo-Roldán, Sindy Damaris[1]; Montalvo-Romero, Nayeli[2]; Montiel-Rosales, Aarón[1]*

Tecnológico Nacional de México / ITS de Teziutlán [1]
m23te0007@teziutlan.tecnm.mx; m23te0005@teziutlan.tecnm.mx; m23te0043@teziutlan.tecnm.mx
Tecnológico Nacional de México / ITS de Misantla [2]
naiemontalvor@gmail.com
ar.chimedes@hotmail.com

RESUMEN

La estimación precisa del comportamiento de las ventas de gas L. P., es complejo. Con esta información, la empresa puede tomar decisiones importantes, *e.g.*, programación de la producción, planeación del ruteo vehicular, asignación de recursos humanos y materiales; que, al no ser planeadas de forma adecuada en función de la estimación de las ventas, generan costos e inconformidades por incumplimientos, que afectan a su vez la calidad del servicio y credibilidad, de la empresa gasera. Ante esta necesidad, se ha modelado el comportamiento de las ventas de gas L. P., de una empresa gasera con sede en México. La modelación matemática del comportamiento de las ventas como variable dependiente, considera la interrelación de diversas variables independientes que son modeladas considerando la incertidumbre asociada al comportamiento no determinista de las variables. La modelación matemática y simulación en Monte Carlo, se realizó empleando el software @Risk demo. El estudio realizado mostró que de la estación Vega Redonda se estima una venta de mínimo 1,193 kg y un máximo de 1,924 kg, para el próximo periodo. Entonces, con esta información que considera la incertidumbre asociada al comportamiento variable de las ventas, la asignación de recursos con mayor precisión es posible. Este caso, de modelación y simulación de factores inciertos, muestra la importancia de la consideración de la incertidumbre como parte del proceso de toma de decisiones.

Palabras Claves: toma de decisiones, riesgo, gestión de recursos, estimación, modelación matemática.

ABSTRACT

The precise estimation of the behavior of L. P. gas sales is complex. With this information, the company can make important decisions, *e.g.*, production scheduling, vehicle routing planning, allocation of human and material resources, which, when not properly planned based on the estimate of sales, generate costs and non-conformities due to non-compliance, which in turn affect the quality of service and credibility of the gas company. In view of this need, the behavior of L. P. gas sales, from a gas company based in Mexico, has been modeled. The mathematical modeling of sales behavior as a dependent variable considers the interrelation of various independent variables that are modeled considering the uncertainty associated with the non-deterministic behavior of the variables. The mathematical modeling and simulation in Monte Carlo were carried out using the @Risk demo software. The study showed that the Vega Redonda station is estimated to sell a minimum of 1,193 kg and a maximum of 1,924 kg for the next period. So, with this information that considers the uncertainty associated with the variable behavior of sales, the allocation of resources with greater precision is possible. This case, of modeling and simulation of uncertain factors, shows the importance of considering uncertainty as part of the decision-making process.

Keywords: decision making, risk, resource management, estimation, mathematical modeling.

1. INTRODUCCIÓN

La incertidumbre, es un fenómeno asociado a todo proceso. Es una realidad, que todo proceso es no estático ni determinista; existen fluctuaciones en las variables, atribuidas a su propia naturaleza. Dicha variabilidad, en ocasiones no es considerada; lo que ocasiona que se generen modelos de decisión imprecisos y desviados de la realidad. Para atenuar esta desventaja, es necesario desarrollar sistemas de apoyo a la decisión, que consideren la incertidumbre asociada a las variables de decisión, de manera que el valor de la variable de interés sea lo más cercana al valor real.

En las organizaciones, una de las variables de interés es la determinación del volumen de ventas. La estimación adecuada, de dicho valor permite realizar una programación eficiente de los recursos y una proyección de la planeación de crecimiento de la organización. El volumen de ventas es un valor que se asocia directamente al valor de la Utilidad Esperada (UE), ante factores inciertos. El estudio de Blumberg (2023), destaca la UE como un concepto clave en la teoría de la decisión, utilizado para medir el beneficio de una acción al multiplicar la utilidad de cada resultado por su probabilidad de ocurrencia, aplicándose en situaciones de incertidumbre para cuantificar el rendimiento de las consecuencias esperadas; aunado a esto Zhang et al. (2020), destaca que el valor esperado puede medir el nivel de error en la toma de decisiones al recopilar nueva información.

En la literatura existen múltiples estudios, que reportan variados enfoques centrados en mejorar el proceso de toma de decisiones a partir de la modelación de la incertidumbre en función del valor de la UE. Liu et al. (2018), analiza la maximización de la utilidad en el comercio electrónico B2C mediante redes de Petri de juego lógico. En (Schipper, 2024), se explora la UE en situaciones de incertidumbre utilizando el bayesianismo inverso para encontrar valores deseados o esperados. El estudio de Ye (2021), se propone un modelo de toma de decisiones basado en funciones de utilidad para reservas giratorias en sistemas de energía, buscando relacionar beneficios y preferencias de riesgo para lograr una asignación óptima. Michaud (2022), resalta la aplicación de la teoría de la UE en finanzas modernas para la toma de decisiones en condiciones de incertidumbre, utilizando modelos de axiomas.

Además, Al-Hchaimi et al. (2023), presenta una metodología para evaluar y clasificar técnicas de contramedidas contra ataques de denegación de servicio en IoT basado en MPSoCs, utilizando el método CRITIC para la ponderación de criterios y el método Fermatean-FDOSM para la clasificación de las técnicas, con el objetivo de apoyar la toma de decisiones en seguridad de IoT. Zytoon (2020), presenta un método de toma de decisiones para la priorización de inspecciones de seguridad reguladas utilizando enfoques integrados de Delphi, AHP y TOPSIS, con aplicación en el sistema de tratamiento médico. Xu et al. (2023), analiza la toma de decisiones en la cadena de suministro del comercio electrónico transfronterizo, centrándose en las preferencias de riesgo como la aversión a la falta de *stock* y al desperdicio. Prado y Chikezie (2021), presenta un modelo de toma de decisiones para minoristas de electricidad que incorpora sistemas de almacenamiento de energía y ofertas virtuales, utilizando el CVaR para gestionar riesgos y minimizar costos.

Li et al. (2019), presenta un método de toma de decisiones de grupo para el sistema de tratamiento médico en China, utilizando un enfoque jerárquico para la evaluación de hospitales y la transferencia de pacientes. Yet et al. (2018), aborda la obtención del valor esperado en modelos de decisión mediante métodos que consideran la información perfecta, utilizando técnicas de programación. Khmelnitsky y Singer (2023), analiza estrategias de precios óptimos y aceptación de ofertas en bienes raíces, buscando maximizar las ganancias proyectadas mediante un modelo que considera costos fijos, de publicidad y variables.

Yang et al. (2021), utiliza el valor esperado para predecir el impacto y volumen de derrames de petróleo en las costas. En (Griffith et al., 2021), se explora la relación entre la teoría de detección de señales y el análisis secuencial en la toma de decisiones en psicología y neurociencia, utilizando el valor esperado en pruebas de elección binaria para predecir decisiones basadas en parámetros estadísticos. Abu Dabous et al. (2021), integran el análisis de modo de falla, efectos y criticidad con la toma de decisiones multicriterio en la industria manufacturera, utilizando el valor esperado para mitigar errores, garantizar la seguridad y confiabilidad de los productos, y reducir costos operativos y de mantenimiento.

Martínez-Sánchez y Venegas-Martínez (2013), examinan el riesgo en las inversiones de la Bolsa Mexicana de Valores, utilizando el valor esperado como ganancia mínima esperada para evaluar el riesgo en las operaciones bursátiles. Zhao et al. (2020), proponen un enfoque híbrido de brecha de información estocástica que combina la teoría de la decisión de brecha de información con CVaR, para desarrollar estrategias de oferta óptimas considerando incertidumbres estocásticas y no estocásticas en una planta de energía solar de concentración en mercados eléctricos diario y en tiempo real. Wang et al. (2021), proponen un modelo de optimización para la toma de decisiones de un minorista en el

mercado *spot* diario, considerando contratos de carga interrumpible y la incertidumbre del precio *spot*, utilizando la evaluación de valor en riesgo condicional para maximizar el beneficio esperado. Szwarcfiter y Herer (2024), presentan un modelo de optimización estocástica utilizando aprendizaje por refuerzo para equilibrar los retornos financieros.

Xu y Salado (2023), presentan un enfoque innovador para la planificación de estrategias conjuntas de verificación-corrección en sistemas. Chen et al. (2024), presentan un sistema para gestionar estaciones de carga de vehículos eléctricos que aborda las limitaciones en las redes de distribución de energía e incertidumbres, incorporando mecanismos de comercio de energía para una gestión efectiva bajo diversas fuentes de incertidumbre como fluctuaciones en los precios de la energía y la variabilidad de la energía renovable, utilizando el valor esperado en la toma de decisiones y el método Monte Carlo para la evaluación de riesgos y la programación de EVCS.

Así mismo, sistemas complejos que se han desarrollado para estimar valores futuros, consideran, ***e.g.***, un sistema de control robusto basado en aprendizaje para vehículos inteligentes con dinámicas desconocidas y perturbaciones ilimitadas, utilizando control predictivo de modelos con modelo de regresión lineal-bayesiana y optimización convexa para eficiencia en las leyes de control y vialidad recursiva, se presenta en (Bao et al., 2024). MCMARL, se presenta como un enfoque en la parametrización de la función de valor mediante una mezcla de distribuciones categóricas para el aprendizaje por refuerzo multiagente, aplicado en entornos cooperativos para capturar la incertidumbre y complejidad (Zhao, Yang et al., 2023).

Una estrategia de optimización en tiempo múltiple para la recuperación de emergencia post-desastre en sistemas de distribución basada en control predictivo de modelos, enfocada en restablecer el servicio eléctrico en áreas afectadas y priorizar la recuperación, influenciada por variables de decisión y retroalimentación de la demanda para un valor esperado, se describe en (Wan et al., 2022). En (Yao et al., 2024), se presenta el desarrollo de estrategias de control adaptativo para una estructura inteligente flexible impresa en 4D, permitiendo adaptarse a cambios en el entorno y aplicable en diversos sectores como arquitectura, ingeniería y robótica, con base en retroalimentación de información y regulación en controladores para un valor esperado.

Como se muestra, existen múltiples aplicaciones de sistemas de apoyo al proceso de toma de decisiones, que consideran la incertidumbre como parte de la modelación matemática de los sistemas. Ante tal situación, este estudio contribuye a este conjunto de conocimiento en la modelación y simulación de parámetros inciertos sobre el comportamiento de las ventas de una empresa. Siendo, el objetivo de estudio el desarrollo de un modelo de pronóstico basado en el comparativo de ventas y otros factores influyentes para evaluar, él cumplimiento del presupuesto de un próximo periodo de tiempo. Se utiliza @Risk 8.5.2 en versión demo, para construir el modelo matemático y simular las variables parametrizadas en Monte Carlo, en el pronóstico de las ventas de un próximo periodo contemplando la incertidumbre asociada al comportamiento de dicha variable.

La empresa gasera se dedica a brindar el servicio del gas L. P. Dentro de las atenciones que brinda comercializa las presentaciones de gas de 10 kg. En febrero del 2024, se observó un comportamiento de decaimiento en las ventas de los PDVT, con respecto al mes anterior. Ante tal situación, la empresa gasera al corte del mes de febrero reportó pérdidas económicas por una inadecuada estimación de ventas realizada en el mes de enero. El modelo empleado por la empresa para la estimación de ventas de un periodo a otro es un modelo de series de tiempo determinista. Ante tal situación y con la intención de disminuir la variación entre el valor de ventas esperado y el valor de ventas real; se propone en el presente estudio, el desarrollo de un modelo de estimación de ventas para un próximo periodo bajo condiciones de incertidumbre, y así, evaluar sí es probable cumplir el presupuesto de marzo 2023.

2. METODOLOGÍA

El sistema de apoyo al proceso de toma de decisiones de la estimación de ventas considera la interacción de diversas variables independientes, sobre la dependiente (ventas). En tal sentido, la incertidumbre asociada al comportamiento de variables estocásticas se representará mediante distribuciones de probabilidad; las cuales, será determinadas mediante pruebas estadísticas de bondad y ajuste. Para esto, se empleará una base de datos de las ventas históricas de una empresa gasera con presencia en México, integrada em Microsoft® Excel® para Microsoft 365 MSO (versión 2404 compilación 16.0.17531.20152) de 64 bits; mientras que el modelo matemático del sistema bajo condiciones de incertidumbre se desarrollará en @Risk 8.5.2 en versión demo como complemento de Microsoft® Excel® para Microsoft 365. Finalmente, el modelo bajo condiciones de incertidumbre se simulará en Monte Carlo, como generador de números pseudoaleatorios.

3. RESULTADOS

La sección presenta el modelado del sistema y, el análisis de los resultados, del sistema.

3.1. Descripción de los Datos

La base de datos se conforma de las ventas que se tuvieron en los puntos de venta de la Planta San Andrés Tuxtla ubicada en Veracruz-México, comprendida por los meses de enero y febrero del año 2024; considerando 25 días hábiles del mes. La Figura 1, presenta una sección de la base de datos.

Estatus	PDVT	Kilos enero	Kilos febrero	Ubicación	Antigüedad en años	Horas te atención	Clientes tatum atendidos por ruta al día
COMISION	MISCELÁNEA MARY	130	100	1	0.5	8	2
COMISION	MINISUPER TO	80	117	1	0.9	5	3
COMISION	ABARROTES EL TRIANGULO	141	120	1	0.9	6	4
ESTACION	EST. DE CARB (HUEYTAMALCO)	110	140	1	2	14	2
COMISION	ABARROTES RICARDA	130	140	1	2	6	0
COMISION	COYOTZINGO	250	160	1	3	8	0
COMISION	DAYKA	261	164	1	3	8	0
COMISION	ABARROTES ALEJANDRA	401	191	1	0.9	12	4
ESTACION	ESTACION SAN SEBASTIAN	160	214	1	3	14	2
COMISION	ESPIRY	200	230	3	3	12	2
COMISION	AB. ROGER	290	250	3	4	10	0
COMISION	ABARROTES LILIAN	300	250	3	3	16	0
ESTACION	ESTACION PLANTA	382	272	1	5	14	0
COMISION	AB. LA UNIVERSAL VERACRUZANA	520	320	3	4	13	0
COMISION	ABARROTES 3 HERMANOS DEL VALLE	380	340	1	3	10	0
COMISION	LA FAVORITA	373	349	1	0.6	12	3
COMISION	CHELA´S	550	357	1	4	12	3
COMISION	ABARROTES LUPITA	470	380	1	3	14	0
COMISION	ABARROTES MUNDO	467	427	1	0.5	6	3
COMISION	VINOS Y LICORES PATY	568	458	3	3.5	14	0
COMISION	ANITA	425	468	1	4	16	2
COMISION	AB. YAEL	620	490	1	4	8	1
COMISION	CIELO	500	490	3	2.5	12	0
COMISION	ABARROTES EL SOL	234	507	1	0.7	13	2
COMISION	ABARROTES PANAMÁ	560	520	1	3	10	0
ACTIVO	ABARROTES LORENA	980	600	1	3	10	0
COMISION	DE LUNA	873	642	1	4.5	10	2
ESTACION	ESTACION MA DE LA TORRE	790	727	1	4	14	0
COMISION	3 HERMANOS SAN PEDRO	555	738	3	0.5	10	0
COMISION	ABARROTES FÉLIX	807	797	3	4	10	0
COMISION	ANDY	1152	1007	1	6	13	0
ACTIVO	AB. EL ARENAL	1200	1062	1	6	12	0
COMISION	BARRIENTOS	1175	1088	2	6	12	0
ACTIVO	M Y M	1360	1210	3	5	14	0
ACTIVO	ABARROTES NAHOMI	1350	1280	1	3	14	0
ACTIVO	AB. TOÑITA	1448	1355	1	5	14	0
ESTACION	ESTACION VEGA REDONDA	1673	1434	1	6	14	2
ACTIVO	MISCELANEA OXXI	1660	1440	1	5	14	0
ACTIVO	MIS DOS ESTRELLAS	1635	1491	1	6	14	0
ACTIVO	MARICARMEN	1674	1581	2	6	14	0

Figura 1 Base de Datos.

La base de datos describe:

- Estatus: indica la manera en que trabajan los PDVT.
- Estación: código propio de la empresa.
- Comisión: es el socio comercial (perciben sueldo mínimo).
- Activo: empleado comercial (perciben comisión por kilogramo).
- PDVT: es el nombre de la razón social que vende el tanque.
- Kilogramos de enero y kilogramos de febrero, son la cantidad de kilogramos vendidos.
- Ubicación: consta de lo siguiente,
    - Representa la ubicación del PDVT en la colonia.
    - Representa la ubicación del PDVT en el centro.
    - Representa la ubicación del PDVT en alguna congregación.
- Antigüedad en años: es el tiempo que la razón social lleva trabajando con la empresa.
- Horas de atención; es el tiempo que el establecimiento se encuentra abierto para los clientes.
- Clientes TATUM atendidos por ruta al día: representa a los clientes que compran su cilindro de 10 kg, con la camioneta de reparto.

3.2. Modelación Matemática

La técnica comúnmente empleada en la determinación de un valor futuro, promedio simple; es robustecida al incorporarse la incertidumbre a la Ecuación (1).

$$\bar{x} = \frac{x_1+x_2+x_3+\cdots+x_n}{n} \qquad (1)$$

Donde:

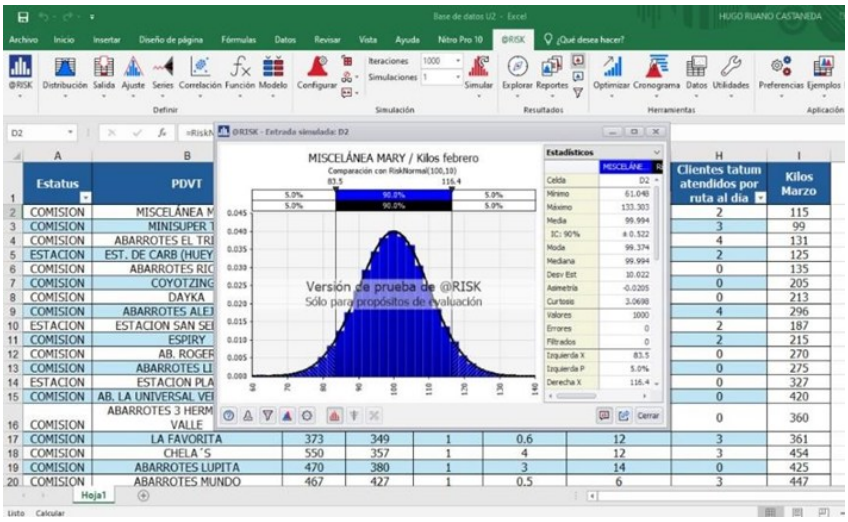
$\bar{x}$ = Promedio o pronostico.

x_1 = Valor histórico.
n = Numero de datos.

Con esta ecuación los valores históricos, son empleados para estimar un valor futuro y establecer así el pronóstico por promedio simple.

3.3. Modelación bajo Condiciones de Incertidumbre

A partir de la Ecuación (1), y representando en cada una de las variables la incertidumbre mediante distribuciones de probabilidad, el sistema de apoyo a la decisión se desarrolla en @Risk (ver Figura 2).



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Estatus	PDVT						Clientes tatum atendidos por ruta al dia	Kilos Marzo
2	COMISION	MISCELÁNEA M						2	115
3	COMISION	MINISUPER T						3	99
4	COMISION	ABARROTES EL TRI						4	131
5	ESTACION	EST. DE CARB (HUEY						2	125
6	COMISION	ABARROTES RIC						0	135
7	COMISION	COYOTZING						0	205
8	COMISION	DAYKA						0	213
9	COMISION	ABARROTES ALEJ						4	296
10	ESTACION	ESTACION SAN SEI						2	187
11	COMISION	ESPIRY						2	215
12	COMISION	AB. ROGER						0	270
13	COMISION	ABARROTES LI						0	275
14	ESTACION	ESTACION PLA						0	327
15	COMISION	AB. LA UNIVERSAL VEI						0	420
16	COMISION	ABARROTES 3 HERM VALLE						0	360
17	COMISION	LA FAVORITA	373	349	1	0.6	12	3	361
18	COMISION	CHELA´S	550	357	1	4	12	3	454
19	COMISION	ABARROTES LUPITA	470	380	1	3	14	0	425
20	COMISION	ABARROTES MUNDO	467	427	1	0.5	6	3	447

Figura 2 Modelación con @Risk.

Aplicadas las distribuciones a cada una de las variables, la simulación en Monte Carlo se efectúo. Con lo que se obtuvo que la estimación de ventas para el mes de marzo de la estación de CARB (HUEYTAMALCO), el modelo estimó un valor mínimo de venta de 88 kg y un máximo de 157 kg a vender, tal y como se muestra en la Figura 3.

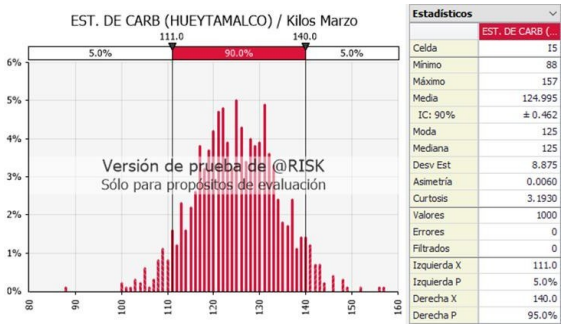


Figura 3 Estimación de Ventas de la Estación CARB(HUEYTAMALCO).

La estimación de ventas para el mes de marzo de la estación de SAN SEBASTIAN, el modelo estimó un valor mínimo de venta de 142 kg y un máximo de 228 kg a vender, tal y como se muestra en la Figura 4.

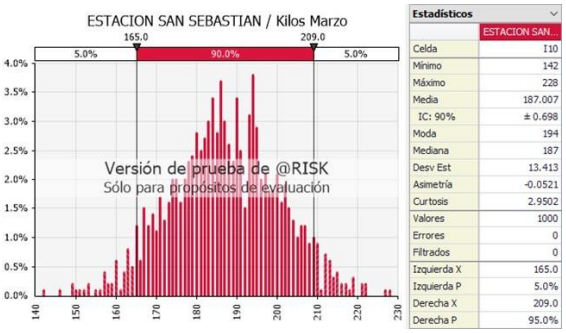


Figura 4 Estimación de Ventas de la Estación SAN SEBASTIAN.

La estimación de ventas para el mes de marzo de la estación de PLANTA, el modelo estimó un valor mínimo de venta de 240 kg y un máximo de 406 kg a vender, tal y como se muestra en la Figura 5.

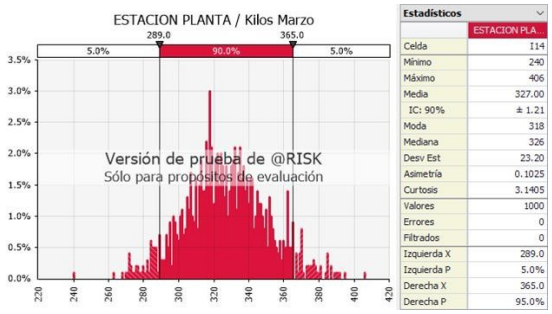


Figura 5 Estimación de Ventas de la Estación PLANTA.

La estimación de ventas para el mes de marzo de la estación de MA DE LA TORRE, el modelo estimó un valor mínimo de venta de 572 kg y un máximo de 924 kg a vender, tal y como se muestra en la Figura 6.

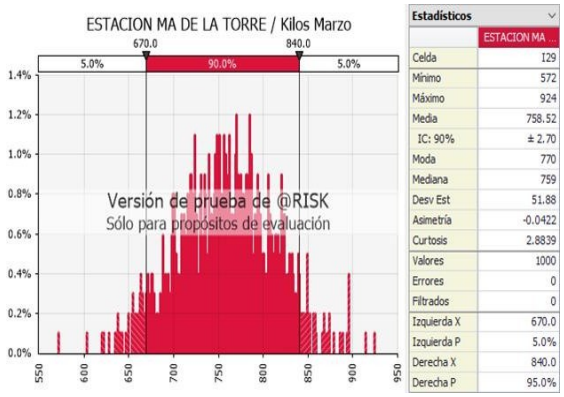


Figura 6 Estimación de Ventas de la Estación MA DE LA TORRE.

Finalmente, la estimación de ventas para el mes de marzo de la estación de VEGA REDONDA, el modelo estimó un valor mínimo de venta de 1,193 kg y un máximo de 1,924 kg a vender, tal y como se muestra en la Figura 7.

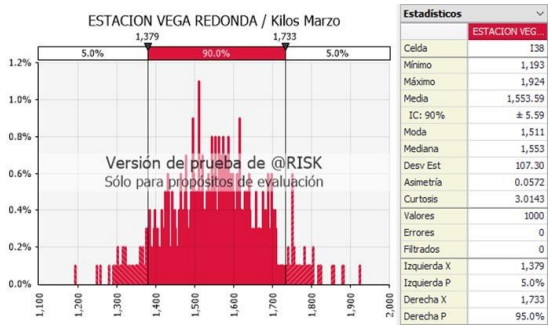


Figura 6 Estimación de Ventas de la Estación VEGA REDONDA.

La estimación de ventas por estacionario prevé ventas en kilogramos para marzo en diversas ubicaciones. Cada estación muestra un rango mínimo y máximo de ventas esperadas para ese período. Estas proyecciones son útiles para la planificación de inventarios, asignación de recursos y estrategias de ventas específicas para cada ubicación. Además, permiten comparar el rendimiento real con las proyecciones, lo que facilita ajustes y mejoras en las estrategias comerciales.

4. CONCLUSIONES

Para evaluar la salud financiera de la empresa gasera bajo estudio., y su capacidad para cumplir con los objetivos presupuestarios, se estableció una estimación considerando la incertidumbre asociada al comportamiento natural de las variables en el proceso, basado en el análisis comparativo de ventas y otros factores influyentes. Para lograr esto, se modeló el comportamiento de las variables en @Risk 8.5.2 en versión demo; con lo que, se tienen las bases para comprender la naturaleza probabilística de las ventas y tomar decisiones fundamentadas.

El análisis y modelado matemático se centran en el pasado, en el presente y se proyectan hacia el futuro para anticipar posibles escenarios y tomar medidas proactivas en consecuencia. Esto incluye la evaluación de la probabilidad de cumplir con el presupuesto de marzo de 2024, y la posibilidad de ajustar las estrategias comerciales o financieras según sea necesario.

Esta propuesta es factible de mejora al, considerar: a) incorporar otros datos relevantes, como tendencias del mercado, cambios en la competencia, fluctuaciones económicas; b) realizar análisis comparativos: comparar el rendimiento actual con períodos anteriores para identificar tendencias y patrones; c) evaluar múltiples escenarios: considerar diferentes escenarios posibles al elaborar estimaciones, teniendo en cuenta diferentes variables que podrían afectar las ventas; d) involucrar a expertos: contar con la participación de expertos en análisis de datos que complementen la estimación, en función de su conocimiento tácito; e) establecer un sistema automático de estimación: mantener las estimaciones actualizadas a medida que se recopilan nuevos datos y se producen cambios en el entorno empresarial.

La modelación de sistemas bajo condiciones de incertidumbre reduce la variabilidad entre el valor esperado y el valor real, al modelar la variabilidad natural a las variables de interés. En el presente estudio, este enfoque permite la determinación de estimaciones precisas y realistas, que mejoran el proceso de toma de decisiones.

5. REFERENCIAS

Abu Dabous, S., Ibrahim, F., Feroz, S., & Alsyouf, I. (2021). Integration of failure mode, effects, and criticality analysis with multi-criteria decision-making in engineering applications: Part II – Non-manufacturing industries. *Engineering Failure Analysis*, 122, 105296. https://doi.org/10.1016/J.ENGFAILANAL.2021.105296

Al-Hchaimi, A. A. J., Sulaiman, N. B., Mustafa, M. A. B., Mohtar, M. N. B., Hassan, S. L. B. M., & Muhsen, Y. R. (2023). Evaluation Approach for Efficient Countermeasure Techniques Against Denial-of-Service Attack on MPSoC-Based IoT Using Multi-Criteria Decision-Making. *IEEE Access*, 11, 89–106. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3232395

Bao, H., Kang, Q., Shi, X., Xiao, L., & An, J. (2024). Robust Learning-Based Model Predictive Control for Intelligent Vehicles With Unknown Dynamics and Unbounded Disturbances. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 9(2), 3409–3421. https://doi.org/10.1109/TIV.2023.3336964

Blumberg, K. (2023). Wishing, Decision Theory, and Two-Dimensional Content. *Journal of Philosophy* 120 (2):61-93.

Chen, X., Wang, X., & Shahidehpour, M. (2024). Risk-aware Hierarchical Coordination of Peer-to-Peer Energy Trading for Electric Vehicle Charging Stations in Constrained Power Distribution and Urban Transportation Networks under Uncertainties. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 1. https://doi.org/10.1109/TTE.2024.3362848

Griffith, T., Baker, S. A., & Lepora, N. F. (2021). The statistics of optimal decision making: Exploring the relationship between signal detection theory and sequential analysis. *Journal of Mathematical Psychology*, 103, 102544. https://doi.org/10.1016/J.JMP.2021.102544

Khmelnitsky, E., & Singer, G. (2023). Optimal Real Estate Pricing and Offer Acceptance Strategy. *IEEE Access*, 11, 58644–58653. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3284549

Li, N., Zhang, R., & Xing, Y. (2019). A Novel Multi-Attribute Group Decision-Making Method and Its Application in Solving the Downward Referral Problem in the Hierarchical Medical Treatment System in China. *IEEE Access*, 7, 185205–185227. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2959061

Liu, W., Feng, X., Zhang, F., Du, Y., & Yan, C. (2018). Analytic of B2C E - Commerce Credit Mechanism Mixed Strategy Risk Behavior Based on Logical Game Petri Nets. *IEEE Access*, 6, 29109-29131.

Martínez-Sánchez, J. F., & Venegas-Martínez, F. (2013). Riesgo operacional en el proceso de liquidación del mercado mexicano de valores: un enfoque bayesiano. *Investigación económica*, 72(286), 101-138. Recuperado en 07 de agosto de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-16672013000400004&lng=es&tlng=es.

Michaud, Richard O. (April 2022). Expected Utility and the Michaud Efficient Frontier. Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=4075071 or http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4075071

Prado, J. C. D., & Chikezie, U. (2021). A Decision Model for an Electricity Retailer With Energy Storage and Virtual Bidding Under Daily and Hourly CVaR Assessment. *IEEE Access*, 9, 106181–106191. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3100815

Schipper, B. C. (2024). Predicting the Unpredictable under Subjective Expected Utility, *In Working Papers 362*, University of California, Davis, Department of Economics.

Szwarcfiter, C., & Herer, Y. T. (2024). Managing the Balance Between Project Value and Net Present Value Using Reinforcement Learning. *IEEE Access*, 12, 7500–7518. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3346789

Wan, H., Liu, W., Shi, Q., Zhang, Y., Wang, Y., & Zhang, S. (2022). Multi-time-step rolling optimization strategy for post-disaster emergency recovery in distribution system based on model predictive control. CSEE *Journal of Power and Energy Systems*, 1–11. https://doi.org/10.17775/CSEEJPES.2021.08050

Wang, K., Zhu, Z., & Guo, Z. (2021). Optimal Day-Ahead Decision-Making Scheduling of Multiple Interruptible Load Schemes for Retailer With Price Uncertainties. *IEEE Access*, 9, 102251–102263. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3092736

Xu, P., & Salado, A. (2023). A Mathematical Approach to Design Verification Strategies That Incorporate Corrective Activities as Dedicated Decisions. *IEEE Open Journal of Systems Engineering*, 1, 1–11. https://doi.org/10.1109/OJSE.2022.3222731

Xu, X., & Zhou, S. (2023). Cross-Border E-Commerce Supply Chain Decision-Making Considering Out-of-Stock Aversion Risk and Waste Aversion Risk. *IEEE Access*, 11, 45632–45644. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3274697

Yang, Z., Chen, Z., Lee, K., Owens, E., Boufadel, M. C., An, C., & Taylor, E. (2021). Decision support tools for oil spill response (OSR-DSTs): Approaches, challenges, and future research perspectives. *Marine Pollution Bulletin*, 167, 112313. https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2021.112313

Yao, H., Wen, Y., Tian, H., Zhou, Z., Di, Y., Zhang, Y., Luo, X., & Shao, J. (2024). Control-Based Adaptive Behavior for 4-D Printed Flexible Intelligent Structure. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 71(7), 7413–7423. https://doi.org/10.1109/TIE.2023.3306412

Ye, L., Yao, J., Ouyang, X., Zhu, X., & Yang, S. (2021). Risk Analysis and Utility Function-Based Decision-Making Model for Spinning Reserve Allocations. IEEE Access, 9, 18752–18761. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3054404

Yet, B., Constantinou, A., Fenton, N., & Neil, M. (2018). Expected Value of Partial Perfect Information in Hybrid Models Using Dynamic Discretization. *IEEE Access*, 6, 7802–7817. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2799527

Zhang, C., Wang, Z., & Shafieezadeh, A. (2020). Value of Information Analysis via Active Learning and Knowledge Sharing in Error-Controlled Adaptive Kriging. *IEEE Access*, 8, 51021–51034. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2980228

Zhao, J., Yang, M., Zhao, Y., Hu, X., Zhou, W., & Li, H. (2023). MCMARL: Parameterizing Value Function via Mixture of Categorical Distributions for Multi-Agent Reinforcement Learning. *IEEE Transactions on Games*, 1–10. https://doi.org/10.1109/TG.2023.3310150

Zhao, Y., Liu, S., Lin, Z., Wen, F., Yang, L., & Wang, Q. (2020). A Mixed CVaR-Based Stochastic Information Gap Approach for Building Optimal Offering Strategies of a CSP Plant in Electricity Markets. *IEEE Access*, 8, 85772–85783. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2992050

Zytoon, M. A. (2020). A Decision Support Model for Prioritization of Regulated Safety Inspections Using Integrated Delphi, AHP and Double-Hierarchical TOPSIS Approach. *IEEE Access*, 8, 83444–83464. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2991179

"EVALUACIÓN DE LA RESILIENCIA EN CADENAS DE SUMINISTRO DE PEQUEÑAS Y MEDIANAS EMPRESAS EN LA REGIÓN DE MAR DEL PLATA"

Claudia Noemí Zárate, Alejandra María Esteban, María Betina Berardi

Facultad de Ingeniería. UNMdP
cnzarate@fi.mdp.edu.ar *;* aesteban@fi.mdp.edu.ar; betberardi@fi.mdp.edu.ar

RESUMEN

Las cadenas de suministro se han convertido en cadenas globales, muy extensas y complejas que, en caso de interrupciones inesperadas y entornos de mercados cambiantes, no siempre poseen herramientas para superarlas. Pandemias, regiones políticamente inestables, rutas comerciales vulnerables, y las consecuencias del cambio climático, entre otras, hacen que las interrupciones de la cadena de suministro sean cada vez más probables, comprometiendo seriamente su desempeño. La resiliencia es un concepto que caracteriza el comportamiento de las organizaciones ante disrupciones inesperadas. Las PyMEs en este contexto, se consideran más vulnerables debido a sus características propias de tamaño, capacidad financiera e informalidad, entre otras. El objetivo de este trabajo es, a través de una revisión bibliográfica identificar los factores que afectan a la resiliencia de las organizaciones, en particular de las PyMEs. A partir de los resultados obtenidos, proponer un índice, utilizando un modelo multicriterio. La metodología utilizada fue una revisión sistemática de la literatura y modelos multicriterio. Los resultados indican que la producción científica para PyMEs en economías emergentes es escasa, a pesar de la importancia económica que tienen las PyMEs en cualquier entorno, para el desarrollo del país. Esto demuestra una clara necesidad de aumentar el conocimiento en este sentido. A partir de los factores que más influyen en la resiliencia se presenta un esquema basado en Metodologías Multicriterio -Proceso Analítico de Jerarquías- para determinar la importancia de los mismos en las PyMEs de la región, y se propone el cálculo de un índice de resiliencia para la empresa en particular.

Palabras Claves: Resiliencia, PyMEs, Índice, Proceso Analítico de Jerarquías.

ABSTRACT

Supply chains have become very large and complex global chains that, in the event of unexpected disruptions and changing market environments, do not always have the tools to overcome them. Pandemics, politically unstable regions, vulnerable trade routes, and the consequences of climate change, among others, make supply chain disruptions increasingly likely, seriously compromising supply chain performance. Resilience is a concept that characterizes the behavior of organizations in the face of unexpected disruptions. In this context, SMEs are considered more vulnerable due to their size, financial capacity and informality, among others. The objective of this paper is, through a literature review, to identify the factors that affect the resilience of organizations, particularly SMEs. From the results obtained an index using a multi-criteria mode is proposed. The methodology used was a systematic review of the literature and multi-criteria models. The results indicate that scientific production for SMEs in emerging economies is scarce, despite the economic importance of SMEs in any environment for the development of the country. This demonstrates a clear need to increase knowledge in this regard. Based on the factors that most influence resilience, a scheme based on Multicriteria Methodologies - Analytical Hierarchy Process - is presented to determine the importance of these factors in SMEs in the region, and the calculation of a resilience index for the company is proposed.

Keywords: Resilience, SMEs, Index, Analytical Hierarchy Process.

1. INTRODUCCIÓN

En esta sección se presentan los conceptos más relevantes vinculados a la resiliencia de la cadena de suministro, tales como las características de una cadena de suministro resiliente, sus métricas y las acciones que se utilizan para mejorarla. Posteriormente se identifican las particularidades principales de las PyMEs de modo de dar marco al planteo del objetivo de la revisión.

1.1. Resiliencia e la Cadena de Suministro.

Una cadena de suministro (CS) está formada por todas aquellas partes involucradas de manera directa o indirecta en la satisfacción de una solicitud de un cliente. La cadena de suministro incluye no solamente al fabricante y al proveedor, sino también a las redes de transporte, almacenes, distribuidores y vendedores, y al cliente final. El objetivo de cualquier cadena de suministro es proporcionar productos y servicios a los clientes y a la sociedad, de manera rentable. En consecuencia, las empresas se esfuerzan por aumentar sus ingresos -aumentando el número de productos a la venta, o el número de puntos de ventas, entre otras estrategias- reducir los costos -fabricando en aquellos lugares en los que sea más económico hacerlo, por ejemplo- y reducir activos, en la medida es que esto sea posible -por ejemplo, a través de subcontratación-. Así, las cadenas de suministro se han convertido en cadenas globales, muy extensas y complejas. No obstante, este concepto de eficiencia involucrado lleva a CS no competitivas en caso de interrupciones inesperadas y entornos de mercados cambiantes. Pandemias, regiones políticamente inestables, rutas comerciales vulnerables, y las consecuencias del cambio climático, entre otras, hacen que las interrupciones de la CS sean cada vez más probables, comprometiendo seriamente su desempeño (Bruckler *et al.*, 2024). Esta situación ha puesto marcado interés, tanto del sector empresarial como de los investigadores en la resiliencia de la cadena de suministro (RCS). Se define a la resiliencia como la capacidad de una empresa para sobrevivir, adaptarse y crecer en tiempos tumultuosos (Chowdhury & Quaddus, 2017). En el mismo sentido varios autores definen la resiliencia de una cadena de suministro como la capacidad de la cadena para hacer frente a las consecuencias de eventos de riesgo inevitables para volver a su estado operativo original o pasar a un estado nuevo y más deseable después de haber sido perturbado (Peck, 2005; Christopher & Peck, 2004; Juttner & Maklan, 2011).

1.1.1 Características de una cadena de suministro resiliente.

Considerando que las fases de una interrupción son la preparación, la capacidad de respuesta y la recuperación, una cadena de suministro debe desarrollar 4 características para ser resiliente que son (1) flexibilidad, (2) velocidad, (3) visibilidad y (4) colaboración (Khojasteh, 2018).

1. flexibilidad de la cadena de suministro: garantiza que los cambios causados por el evento de riesgo puedan ser absorbidos por la cadena de suministro a través de respuestas efectivas, respaldando la fase de preparación o de detección de interrupciones. Propone a la redundancia -duplicaciones de capacidad para que las operaciones puedan continuar después de una falla- como un camino hacia la flexibilidad.
2. Velocidad de la cadena de suministro: en un evento de riesgo, la velocidad determina la pérdida que ocurre por unidad de tiempo. En el contexto de la flexibilidad, denomina reconfiguración al número de estados posibles que puede tomar una cadena de suministro, la robustez al número de cambios que es capaz de afrontar y la velocidad es el ritmo de las adaptaciones. En este marco, el tiempo de entrega se transforma en un indicador clave de la velocidad. Existen varias formas de velocidad, velocidad a la que ocurre el evento, a la que se descubre el evento de riesgo, a la que ocurren las pérdidas y a la que la cadena de suministro puede recuperarse. Por lo tanto, la velocidad debe evaluarse en las tres fases de la interrupción.
3. Visibilidad de la cadena de suministro: se define como la identidad, ubicación y estado de las entidades que transitan por la cadena de suministro. Garantiza la confianza en la cadena y evita reacciones exageradas, intervenciones innecesarias y decisiones ineficaces en un evento de riesgo. Es importante en las fases de capacidad de respuesta y recuperación, aunque contribuye también en la preparación, porque da las señales correctas en el momento oportuno.
4. Colaboración en la cadena de suministro: dado que la resiliencia en la cadena de suministro es un concepto interorganizacional, se deben adoptar una actitud predispuesta entre las partes para alinear fuerzas en caso de un evento de riesgo. La colaboración está relacionada con la voluntad de las partes de compartir información sensible sobre riesgo y eventos de riesgo. Contribuye a reducir la incertidumbre y la preparación, previniendo comportamientos oportunistas y contribuye, una vez superada la perturbación, para compartir experiencias entre las partes.

La necesidad de medir la resiliencia surge como una forma de establecer un plan de acción para proteger a la CS de interrupciones causadas por eventos inesperados tales como desastres naturales, fallas en maquinarias, o la reciente pandemia, entre otros. El diseño de una métrica de resiliencia debe

contemplar la capacidad de absorción (resistir o absorber impactos externos), la capacidad adaptativa (capacidad de reorganizarse para compensar las interrupciones) y la capacidad de restauración de un sistema (eficiencia y eficacia para reparar un sistema). Las métricas de resiliencia describen formalmente la curva de resiliencia y son un indicador de la resiliencia de un sistema que enfrenta una disrupción. En su revisión Bruckler *et al.* (2024) cita a Hosseini *et al.* (2019), quienes definen a las capacidades de resiliencia de una cadena de suministro como las capacidades de absorber la perturbación y adaptarse a las condiciones cambiadas o de restaurar la situación inicial. Finalmente presentan las acciones de resiliencia que son las medidas de precaución o anticipación proactiva que los tomadores de decisiones pueden tomar de manera proactiva para fortalecer la capacidad de absorción, de adaptación y de restauración de una cadena de suministro ante una disrupción.

1.2. Métricas de resiliencia

Las métricas de resiliencia miden el desempeño de la cadena y esta medición se pueden presentar de diversas magnitudes. En algunos casos se han presentado la medición del desempeño en términos de porcentaje de demanda satisfecha, en unidades entregadas a clientes, en unidades no entregadas del proveedor al fabricante o capacidad de producción. También se publicado investigaciones basadas en criterios económicos -aumento de costos asociados a la interrupción o recuperación, lucro cesante- y referidos a parámetros de calidad como tiempo de entrega, porcentaje de unidades entregadas a tiempo, o sin daño, entre otros.

1.3. Acciones de resiliencia

Son acciones preventivas o anticipatorias que los tomadores de decisiones pueden implementar de manera proactiva para fortalecer las capacidades de absorción adaptación y restauración del sistema para hacer frente a las perturbaciones y mejorar la resiliencia. En líneas generales, las iniciativas de resiliencia para una cadena de suministro incluyen actividades vinculadas al proceso -abastecimiento, producción, distribución y ventas- y se pueden tomar en el marco de decisiones estratégicas, tácticas y operativas. En la Tabla 1 se presentan a modo de resumen distintas acciones que pueden tomarse a efectos de mitigar los efectos de una disrupción, considerando el proceso, tipo de decisión y capacidad que fortalece.

Tabla1: Acciones para mitigar efectos de disrupción. Fuente: elaboración propia en base a resultados de Buckler et al. (2024).

	Abastecimiento	Producción	Distribución	Ventas	Capacidad
decisiones estratégicas	• múltiples proveedores • ubicación y capacidad de almacén	• colchón de capacidad • localización de planta	• ubicación y capacidad de almacén • transporte redundante		*absorción*
	• proveedor de respaldo • cooperación	• tecnologías de producción			*adaptación*
decisiones tácticas	• políticas de inventario • planificación de personal	• planificación de producción en medio/corto plazo (subcontratación, horas extras, etc. • mantenimiento proactivo	• planificación de la distribución • políticas de inventario		*absorción*
	• MRP • políticas de inventario	• planificación de la capacidad • colchón de capacidad	• planificación de la distribución • reasignación de inventario	• planificación de ventas a corto/mediano plazo • priorización de clientes	*adaptación/ restauración*
decisiones operativas	• capacidad de respaldo • gestión de pedidos	• reprogramación de maquinaria	• reprogramación de rutas (desvíos)	• adaptación de nivel de servicio y precio • priorización de clientes	*adaptación*

En la Figura 1 se presenta la curva de resiliencia presentada en la revisión de Buckler *et al.* (2024). En la misma se representan las métricas identificadas por Poulin y Kane (2021). En línea azul se

representa la curva de resiliencia general, mientras que en línea violeta la misma se muestra la curva mejorada a partir de la toma de acciones conducentes para enfrentar la disrupción.

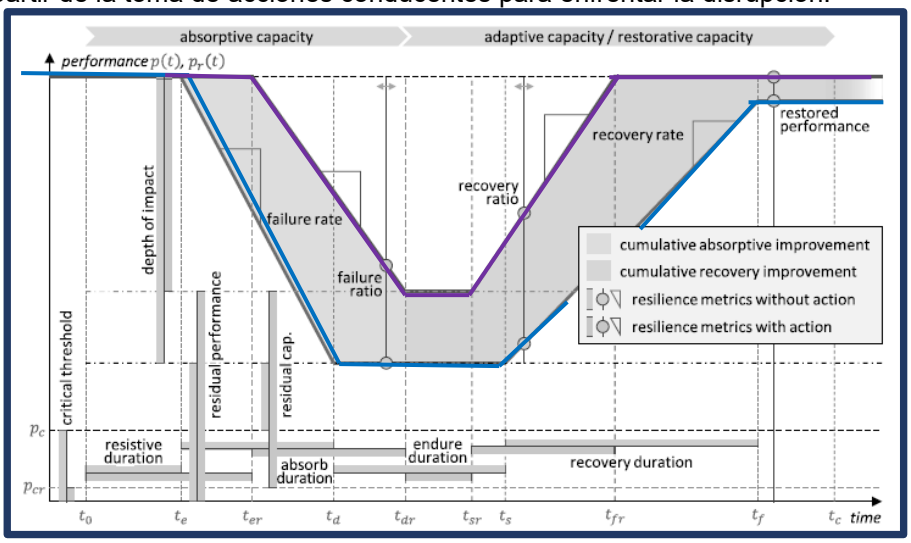


Figura 1: Métricas para evaluar la resiliencia. Fuente: Bruckler et al. (2024)

Referencias: s/a= sin acciones; c/a= con acciones

p_c: umbral crítico;
p_{cr}: umbral crítico inferior;
t_0: inicio de intervalo de control;
t_e: Inicio de la disrupción (s/a);
t_{er}: Inicio de la disrupción (c/a);
p_c: umbral crítico;
p_{cr}: umbral crítico inferior;
t_0: inicio de intervalo de control;
t_e: Inicio de la disrupción (s/a);
t_{er}: Inicio de la disrupción (c/a);
t_d: finalización de la degradación del desempeño(s/a);
t_{dr}: finalización de la degradación del desempeño(c/a);
t_{sr}: inicio de la recuperación del sistema (c/a);
t_s: inicio de la recuperación del sistema (s/a);
t_{fr}: finalización de la recuperación del sistema (c/a);

1.4. Las PyMEs

Se entiende por empresa a toda unidad económica que desarrolle, con ánimo de lucro, el ejercicio habitual de una actividad mercantil basada en la producción, extracción o cambio de bienes o en la prestación de servicios, que utiliza como elemento fundamental para el cumplimiento de dicho fin la inversión del capital y/o el aporte de mano de obra, asumiendo en la obtención del beneficio el riesgo propio de la actividad que desarrolla. Una PyME es una pequeña o mediana empresa que realiza en el país, sus actividades en alguno de estos sectores: servicios, comercial, industrial, agropecuario, construcción o minero. Puede estar integrada por una o varias personas y su categoría se establecen de acuerdo con la actividad declarada, a los montos de las ventas totales anuales o a la cantidad de empleados (https://www.argentina.gob.ar/). Las pequeñas y medianas empresas (PyMEs) son relevantes en todo el mundo porque significan el primer paso de un emprendedor, además de que representan el sustento de millones de familias. La Organización de Naciones Unidas (ONU) indica que en todo el mundo el 90 % de las empresas entran en esta categoría, alojando a más del 60 % de la fuerza laboral y las responsables de generar el 50 % del PIB mundial. No obstante, las PyMEs, a diferencia de las grandes empresas, enfrentan retos para poder sobrevivir, ya que están más expuestas a factores que las pueden hacer desaparecer. Existen factores que afectan el desarrollo de las PyMEs, como el comercio informal, porque genera una competencia desleal con las empresas legalmente establecidas. Por otro lado, las PyMEs suelen tener menos oportunidades de financiamiento. Otros retos están ligados a los procesos operativos, su acceso a la tecnología y las posibilidades de capacitación. Sin contar que son más vulnerables a las crisis económicas locales y mundiales.

1.4.1 Características de una PyME.

Las PyMEs poseen características específicas que las hacen destacar entre otras empresas, más allá del número de empleados o el tamaño de su infraestructura. Se mencionan las principales a continuación:

- **Tamaño**: son organizaciones pequeñas en cuanto al número de trabajadores y dimensiones de su infraestructura y operación.
- **Recursos limitados**: cuentan con limitados recursos financieros, tecnológicos y humanos, sobre todo si se compara con el financiamiento o la plantilla laboral de las grandes empresas; por lo que muchas veces las PyMEs son más creativas para hallar la forma de competir en el mercado.
- **Heterogeneidad**: se trata de empresas que muchas veces abarcan más de un giro o que no tienen tan definidas sus actividades. Estas organizaciones suelen ser más dispersas y menos cohesionadas.
- **Cultura organizacional**: las PyMEs pueden tener una cultura organizacional más cercana a las personas, aunque a veces menos establecida ni reglamentada.

• **Independencia**: este tipo de empresas no están asociadas con otras empresas o grupos, por lo que pueden mantener su autonomía, en contraposición con las grandes empresas.
• **Flexibilidad**: las PyMEs suelen ser más ágiles y flexibles en su organigrama, lo que a veces puede provocar que no tengan procesos tan formales; más bien se van adaptando a las condiciones del mercado y lo que piden los clientes.
• **Familiar**: hay un gran número de PyMEs que son propiedad de una sola familia o de un grupo reducido de personas, lo que permite una gestión más personalizada y cercana a los trabajadores y clientes.
• **Local**: estas empresas operan en una localidad limitada y no suelen expandir sus operaciones a otras áreas, ciudades o países.

1.4.2 La resiliencia en las PyMEs.

En su revisión, Bak *et al.* (2023) sostienen que, a pesar de la importancia de las PyMEs para muchas economías de todo el mundo, la evidencia sugiere que las PyMEs están relativamente menos preparadas que las organizaciones más grandes para hacer frente a las perturbaciones, debido al entorno volátil y de recursos limitados en el que operan. Las PyMEes a menudo tienen un acceso limitado a un conjunto más amplio de estrategias de afrontamiento, generalmente no están bien preparadas para hacer frente a las perturbaciones. Como señalaron Linnenluecke y Griffiths (2010), la resiliencia de una organización se relaciona con su tamaño, por ejemplo, "la interrupción de las operaciones en una sucursal local puede parecer menor desde la perspectiva de una organización grande y global, pero puede ser importante para una organización pequeña que opera sólo en unos pocos lugares".
Las PyMEs enfrentan particularmente dos desafíos clave: 1) su susceptibilidad a las disrupciones y 2) su capacidad para recuperarse de las disrupciones.
Bak *et al.* (2023) identifican en la literatura cuatro áreas focales que se deben considerar al momento de evaluar la resiliencia en las PyMEs: el papel de la colaboración, las capacidades, la adopción de sistemas de información y finalmente los costos y políticas de financiación.
Respecto de la colaboración, indican que, si bien no están demasiado estudiados las barreras e impulsores de la misma, una PyME debido a su tamaño y poder de negociación, encuentra un desafío importante para poder desarrollar estrategias de colaboración.
Respecto de las capacidades, una PyME si bien es más ágil y flexible -lo que mejora su resiliencia- pueden tener dificultades importantes al momento de mitigar o definir planes de recuperación al momento de una disrupción debido a la disponibilidad limitada de recursos.
Como resultado de su estudio, sugieren que un sistema de información seguro puede ayudar a aumentar la resiliencia en una red PyME; sin embargo, la falta de financiación adecuada ya sea para la ciberseguridad como para la adopción de nuevas tecnologías.
El objetivo de este trabajo es explorar el conocimiento científico vinculado a la resiliencia en PyMEs y determinar, en base a la bibliografía, los factores que más la afectan. A partir de los resultados, definir un índice que permita evaluar el grado de resiliencia de una PyME perteneciente al ejido industrial de la región de Mar del Plata.

2. METODOLOGÍA.

Para el desarrollo de este trabajo se emplearon dos metodologías diferentes, la Revisión Sistemática de la Literatura y el Procesos Analítico de Jerarquías

2.1. Revisión Sistemática de la Literatura

Se realizó una Revisión Sistemática de la Literatura estructurada (RSL) sobre las métricas y factores que inciden sobre resiliencia en las PyMEs.
Harzing´s Publish or Perish fue la herramienta de búsqueda utilizada para recopilar el conjunto de datos. Esta herramienta de extracción de datos de Google Scholar recopila publicaciones basadas en palabras clave y produce una lista de todos los artículos, libros, capítulos de libros, disertaciones/tesis, documentos técnicos, actas de congresos y citas de referencia. Además de los autores, títulos y nombres de publicaciones, la herramienta también proporciona recuentos de citas y enlaces a los artículos.

- La Ecuación de búsqueda utilizada fue

"Supply Chain" AND "Resilience" AND "Metric" OR "Metrics" OR "Indicator" OR "Indicators" AND "small and medium-sized enterprises" OR "SMES"

- Limitado a los años 2015-2024

Se encontraron 200 trabajos por Harzing´s Publish or Perish a través de Google Scholar, de los cuales sólo se pudo acceder a 153 artículos en forma completa.

Posteriormente se analizó en título, resumen y palabras claves si contenían la palabra “resiliencia” y “PyMEs”, excluyéndose aquellos trabajos que no las contuvieran. De este proceso resultaron 77 artículos.
Se eliminaron aquellos trabajos referidos a COVID y vinculados a la industria farmacéutica, dado que se considera que la pandemia generó casos extremos de disrupción, que no contribuiría al objetivo de este trabajo.
Finalmente, sólo se analizaron aquellos trabajos en formato de journal y actas de congresos. Es decir, se eliminaron capítulos de libro y editoriales.
En la Figura 2 se presenta un diagrama en el que se ilustra este proceso.

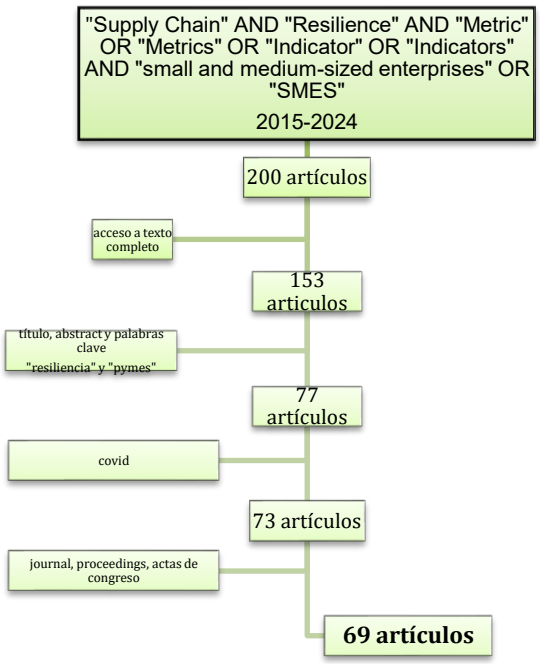


Figura 2: Metodología de búsqueda y revisión de literatura. Fuente: Elaboración propia

2.2. Proceso Analítico de Jerarquías

Los modelos multicriterio se emplean en el caso de escenarios que presentan múltiples dimensiones. Dentro de estos modelos el Proceso Analítico de Jerarquías (PAJ) es una herramienta especialmente útil cuando las decisiones son complejas y requieren considerar múltiples factores y/o actores. Es una metodología de trabajo sencilla, lógica y estructurada, basada en la descomposición del problema en una estructura jerárquica. (Martínez Rodríguez, 2007)
El proceso requiere que quien toma las decisiones proporcione evaluaciones objetivas y/o subjetivas, respecto a la importancia relativa de cada uno de los criterios que se seguirán para tomar la decisión y que especifique su preferencia con respecto a cada una de las alternativas de decisión referida a cada criterio. El resultado del PAJ muestra la prioridad total de las alternativas de decisión respecto a la meta (Toskano Hurtado, 2015).
Para tomar una decisión en forma organizada, es necesario seguir los siguientes pasos, (Saaty, 2008):

1. Definir el problema, estableciendo sus componentes o elementos relevantes.
2. Estructurar la jerarquía del problema. Para ello, se elabora una representación gráfica del problema en función de la meta global, los criterios a ser usados y las alternativas de decisión
3. Establecer las preferencias: El PAJ, requiere a quien toma las decisiones, señalar un juicio de valor con respecto a todos los elementos de un nivel, referido a cada uno de los elementos del nivel inmediato superior. Se utilizan matrices de comparaciones pareadas para establecer dichas preferencias. Las comparaciones pareadas son las bases fundamentales del PAJ. Se emplea la escala de Saaty con valores de 1 a 9, como se muestra en Tabla 2, para calificar las preferencias relativas de los elementos. Se debe calcular el índice de consistencia de los juicios para poder validar la matriz y el vector de prioridad.
4. Priorizar y sintetizar: En un problema jerarquizado, las prioridades pueden ser locales, globales o totales.

Tabla 2: Escala de Saaty. Fuente: Toskano Hurtado (2015)

Planteamiento verbal de la preferencia	Calificación Numérica
Extremadamente preferible	9
Entre muy fuertemente y extremadamente preferible	8
Muy fuertemente preferible	7
Entre fuertemente y muy fuertemente preferible	6
Fuertemente preferible	5
Entre moderadamente y fuertemente preferible	4
Moderadamente preferible	3
Entre igualmente y moderadamente preferible	2
Igualmente preferible	1

Cuando se plantean los juicios de dos o más expertos, existen básicamente dos modos filosóficos distintos de agregar la información individual. La elección va a depender si el grupo quiere actuar en conjunto o en forma separada (Forman & Peniwati, 1998) .
Uno de los modos consiste en trabajar con el grupo en conjunto formando uno nuevo a partir de la agregación de los juicios individuales (AIJ) en cada nivel de la jerarquía. Esto produce la pérdida tanto de identidad como de las preferencias individuales de los participantes a favor de una combinación sinérgica, que actúa como única. Dicha combinación debe satisfacer la condición de reciprocidad de los juicios. Saaty (2008) propone la utilización de la media geométrica como la única forma de sintetizar en un solo juicio representativo las opiniones de todos los participantes en la toma de decisiones.
El otro modo, es cuando los participantes actuando en forma separada con distintas valoraciones del sistema, desean mantener su independencia e identidad. En este contexto, el proceso de agregación se realiza al final, una vez obtenidas las prioridades individuales (AIP). Dicha combinación se puede realizar tanto a través de la media aritmética (representativa de un intervalo promedio) o media geométrica (representativa de un cociente promedio). Forman y Peniwati (1998) sostienen que la media geométrica es una medida consistente, ya que en el AHP se utilizan escalas de razón, donde se evalúa cuantas veces es más preferible una alternativa frente a otra.

2.2.1 PAJ de calificación

Cuando se presenta en un problema el análisis de alternativas independientes o su número es superior a nueve, se modifica el PAJ tradicional ya que no se necesita la comparación pareada de las alternativas entre sí. En estos casos, se emplea medidas absolutas o también llamadas de calificación o *ratings* donde la elección se realiza en término de las intensidades de calificación para cada criterio. El modelo de *ratings* resuelve este problema construyendo una escala categórica o estándar, donde las alternativas son comparadas en relación con esta escala. Se requiere elegir a priori una escala categórica de varios niveles para cada indicador definido en cada criterio.
Los pasos de esta metodología son similares a los del PAJ tradicional, reemplazando la comparación pareada de las alternativas respecto de cada criterio por la comparación de cada alternativa frente a la escala de cada criterio.
El puntaje final o síntesis de cada alternativa se obtiene por medio de la siguiente agregación multiaditiva, Ecuación (1) (Curchod & Alberto, 2014)

$$s_j = \sum_i w_i r_{ij} \qquad (1)$$

Donde:

$w_i = peso\ relativo\ del\ criterio\ i$
$r_{ij} = calificación\ (criterio\ i\ y\ alternativa\ j)$
$s_j = puntaje\ de\ evaluación\ de\ la\ alternativa\ j$

4. RESULTADOS

En este apartado en primera instancia se presentan los resultados de la RSE. Posteriormente, y utilizando los principales hallazgos de la búsqueda referidos a los factores que afectan a la resiliencia, se propone un esquema para la obtención del índice de resiliencia "s_j"

4.1. Análisis bibliométrico de la revisión

4.1.1. Distribución en el tiempo

La Figura 3 representa la evolución del número de publicaciones a lo largo de los años en el período considerado (2015-2024).



Figura 3: Cantidad de publicaciones por año. Fuente: Elaboración propia

De la Figura 3 se desprende que alrededor del 75% de las publicaciones vinculadas a la resiliencia de la cadena de suministro se realizaron a partir del año 2020. Esto demuestra la marcada influencia de la disrupción en las cadenas de suministro generada por la pandemia de COVID que impulsó a las comunidades académicas a intensificar las investigaciones en el área. Se observa una disminución en el año 2024, que se atribuye al momento de realizar la revisión (abril 2024).

4.1.2 Distribución geográfica

La Figura 4 presenta los países que se han analizado en los artículos. Se observa que todos los continentes están representados lo que indica que es un tema relevante a nivel mundial y que grandes potencias económicas como India, Australia e Inglaterra tienen la mayor cantidad de investigaciones (alrededor del 43%). Por otra parte, hay sólo 4 trabajos realizados en América del Sur, 2 en Brasil y 2 en Colombia. Resulta llamativo dada las características de los países de dicho continente, en su mayoría economías emergentes, en los que se asume la necesidad de investigaciones que contribuyan al desarrollo de esta temática.

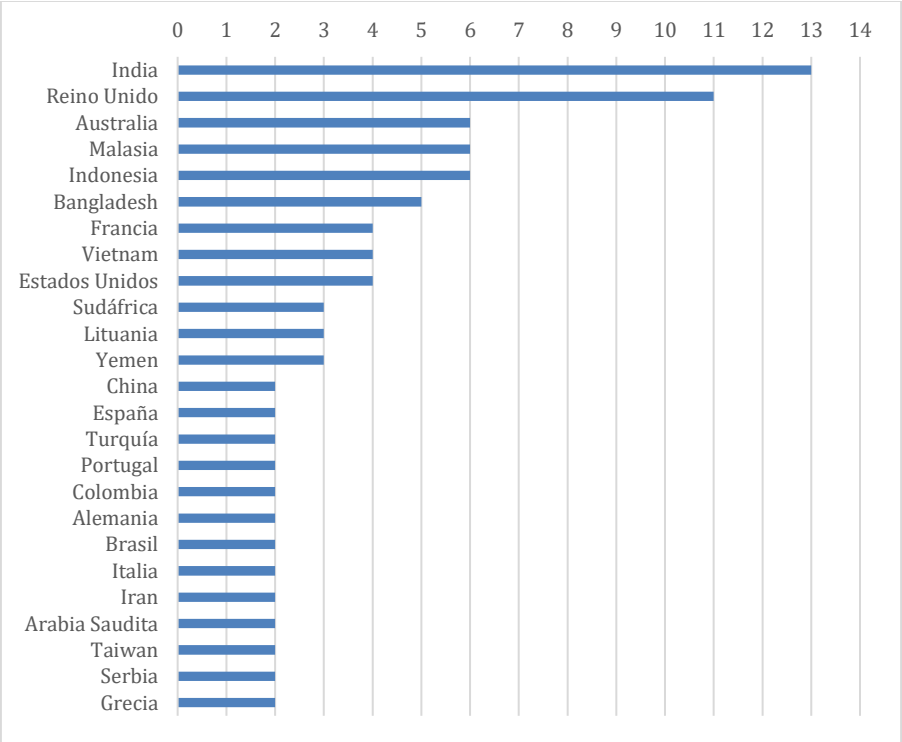


Figura 4: Distribución geográfica de las investigaciones. Fuente: Elaboración propia

4.1.4 Metodologías de investigación

Todos los artículos se clasificaron según su enfoque metodológico más importante, de acuerdo con la descripción de sus trabajos por parte de los autores. En la Figura 5 se presentan las metodologías utilizadas. Se desprende de la misma que un número significativo de los artículos (casi el 40%) se basaron en encuestas y mientras que las revisiones bibliográficas e investigaciones conceptuales

fueron también metodologías muy utilizadas (13% de los casos cada una). Se observa una diferencia entre estos resultados y los de las investigaciones de Saad *et al.* (2021). Ellos encuentran que los trabajos conceptuales son lo de mayor proporción, siguiendo las encuestas y estudios de caso. Esto se atribuye a que en el momento de dicha investigación la pandemia estaba ingresando en su fase final y sus efectos eran, además de importantes, mucho más visibles. La comunidad científica entonces requería de modelos que permitieran inferir el comportamiento de las cadenas de suministro antes las disrupciones. Los resultados indican que, en los últimos años, las necesidades tanto en la academia como en el mundo empresarial han variado hacia el intento de validar los enfoques conceptuales propuestos.

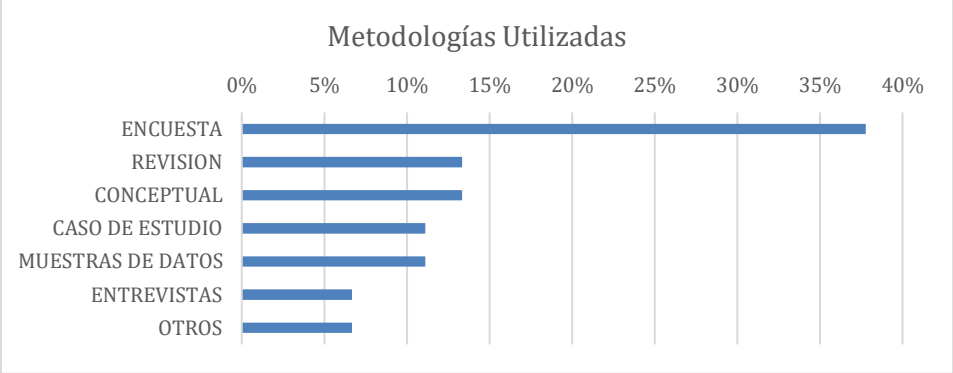


Figura 5: Metodologías utilizadas en las investigaciones. Fuente: Elaboración propia.

4.1.5 Factores de resiliencia

Como se mencionó anteriormente, la SCR es la capacidad de lidiar con interrupciones temporales en la cadena de suministro. Los factores de resiliencia se entienden como aquellas características de la cadena de suministro que mejoran dicha capacidad.

La revisión realizada permitió identificar aquellos factores que más recurrentemente se citan y se presentan en la Figura 6.

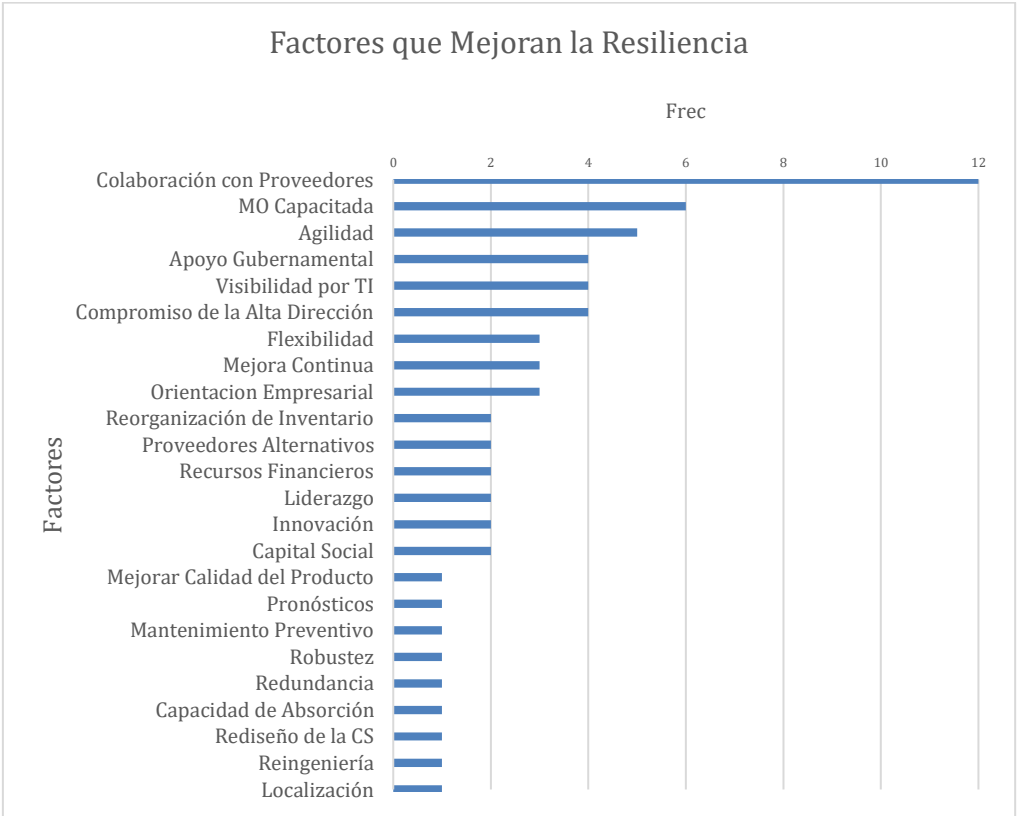


Figura 6: Factores de resiliencia. Fuente: Elaboración propia

Como se desprende de la misma, los 6 factores que más inciden en la resiliencia de una PyME son:

F1: Colaboración con Proveedores. Es el factor más citado. Se define como una relación estratégica en la cual ambas partes trabajan de manera conjunta para alcanzar objetivos comunes. En lugar de una relación transaccional puramente basada en el costo, esta colaboración busca generar beneficios mutuos a largo plazo, tales como la optimización de la cadena de suministro, la innovación conjunta, la mejora de la calidad y la eficiencia operativa.

F2: Mano de Obra Capacitada: se refiere a trabajadores que poseen las habilidades, conocimientos y competencias necesarias para realizar de manera eficiente tareas específicas dentro de un entorno laboral. Esto le brinda a la organización la flexibilidad necesaria para adaptarse rápidamente a los cambios en el flujo de los materiales.

F3: Agilidad de la CS: La agilidad de la cadena de suministro se refiere a la capacidad de una organización para ajustar rápidamente sus operaciones, procesos de producción y gestión de inventario en respuesta a cambios en la demanda, la oferta y el mercado en general. Esto implica ser capaz de adaptarse eficientemente a fluctuaciones repentinas, como picos de demanda o escasez de materias primas, y tomar decisiones basadas en datos en tiempo real. Las empresas ágiles suelen aplicar en sus procesos metodologías tales como *lean manufacturing*, Six sigma, Scrum, entre otras.

F4: Importancia del Apoyo Gubernamental. El apoyo gubernamental es crucial para fortalecer la resiliencia en PyMEs. El apoyo gubernamental puede implicar acciones que faciliten el acceso a financiamiento, implementación de programas de asesoramiento y de formación, regulaciones impositivas, entre otros.

F5: Visibilidad por Tecnologías de la Información. Se refiere a la capacidad de una empresa para rastrear y monitorear todos los componentes y procesos involucrados en su cadena de suministro, desde la adquisición de materias primas hasta la entrega final de productos o servicios al cliente. Esta visibilidad permite a las empresas tomar decisiones informadas, anticipar problemas y optimizar sus operaciones para mejorar la eficiencia y la satisfacción del cliente. La visibilidad de la cadena de suministro es crucial para evitar errores operativos, reducir costos y minimizar retrasos en la entrega Las tecnologías de la información brindan a las empresas esta posibilidad.

F6: Compromiso de la Alta Dirección: Se refiere a la dedicación y responsabilidad que los líderes de una organización asumen para garantizar el éxito e implementación efectivos de las estrategias y objetivos de la empresa. Para ello se deben definir metas y estrategias específicas que incluyan a la resiliencia, asignar los recursos necesarios, fomentar una cultura organizacional de resiliencia, promoviendo valores como flexibilidad, adaptabilidad en innovación, en todas las áreas de la organización, entre otras.

Zhang *et al*. (2023) a partir de los resultados de su revisión bibliográfica, concluyen que los 7 factores impulsores de la resiliencia en empresas no identificadas como PyMEs son:

1. Agilidad de la CS
2. Estructura de la CS
3. Visibilidad de la CS
4. Intercambio de información
5. Distribución de riesgos en ingresos
6. Distribución geográfica
7. Colaboración con los socios de la CS

Estos resultados evidencian cómo influyen las características de las PyMEs al momento de evaluar la resiliencia. Si bien existen elementos comunes como la agilidad, visibilidad, colaboración con los socios, en el caso de PyMEs aparecen otros tales como el compromiso de la alta dirección y la importancia del apoyo gubernamental como factores importantes de apoyo a mejorar la resiliencia.

4.2 Propuesta de índice de resiliencia

El objetivo es el de hallar un índice que permita a una organización PyME de la región de Mar del Plata medir su resiliencia y, a partir de los resultados, generar acciones direccionadas a mejorarlo.
Para ello se propone una metodología que comprende dos pasos:

I. Determinación de la importancia de los factores de resiliencia

Considerando los factores encontrados en la bibliografía se consulta a los expertos de las empresas de la región para que evalúen la importancia relativa de los mismos. Para ello se recurre a una matriz de comparaciones pareadas, en la cual dichos factores se ponderarán de acuerdo con la escala de Saaty.

Esta matriz, normalizada y evaluada su consistencia, permitirá determinar la importancia relativa de los factores según el juicio de expertos. Los juicios de los distintos expertos se agregarán siguiendo el criterio AIJ, por lo que se agregarán utilizando la media geométrica.
Como resultado de este proceso, se obtiene el vector de pesos *W*

$$W = (w_{1,} w_2, w_3, w_4, w_5, w_6)$$

II. Determinación del índice de resiliencia sj para la empresa "j"

Para evaluar la resiliencia de una empresa en particular "j" se propone que un experto de dicha empresa, a través de un cuestionario (Tabla 4), califique cada criterio para su empresa. Se recurre a la siguiente escala de Likert, que se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3: Escala de Likert: Elaboración propia

Valor	Significado
1	no
2	poco
3	moderadamente
4	mucho
5	totalmente

Tabla 4: Cuestionario empresa j Fuente: Elaboración propia

Calificación r_i	Factor *i*	1	2	3	4	5
r_1	Existen mecanismos de colaboración con sus proveedores (TI, compromisos formales o informales)					
r_2	Considera que su mano de obra está debidamente capacitada (existen cursos de capacitación, MO incentivada y flexible)					
r_3	Implementan metodologías ágiles en sus procesos					
r_4	Considera que el gobierno (municipal, provincial o nacional) tiene herramientas de apoyo financiero					
r_5	Poseen TI que permitan visualizar sus procesos en la Cadena de Suministro					
r_6	Considera que existe un compromiso de la alta dirección hacia volverse una organización cada vez más resiliente					

r_{ij} es la calificación que evalúa la empresa "*j*" respecto del factor *i*

El valor del indicador de resiliencia s_j se calcula aplicando la Ecuación (1)

$$s_j = \sum_i w_i r_{ij} \qquad (2)$$

5. CONCLUSIONES.

La Revisión Sistemática de Literatura permitió visualizar el conocimiento científico vinculado a la resiliencia en PyMEs. Se desprende de dicha revisión que:

- A pesar de que las PyMEs son impulsoras de economías nacionales, existe poca producción referida a la resiliencia en este tipo de empresas.
- Se observa que todos los continentes están representados lo que indica que la resiliencia es un tema relevante a nivel mundial.
- Mas del 40% de los trabajos corresponden a países desarrollados (India, Australia e Inglaterra), significando que el problema de la resiliencia en PyMEs ha sido poco abordado en economías emergentes;
- Casi el 40% de los artículos se basaron en encuestas, mientras que las revisiones bibliográficas e investigaciones conceptuales fueron también metodologías muy utilizadas (13% de los casos cada una).
- Finalmente, se definen como los factores que más influyen en la resiliencia a la colaboración con socios de la cadena, mano de obra capacitada, agilidad de la CS, importancia del apoyo gubernamental, visibilidad por TI y compromiso de la dirección

A partir de los resultados de la revisión y considerando los factores que más influyen en la resiliencia, se planteó un esquema para obtener el índice de resiliencia de una organización. El índice hallado le permitirá a la organización tomar decisiones que la orienten a mejorar su resiliencia.

4. REFERENCIAS.

Bak, O., Shaw, S., Colicchia, C. & Kumar, V. (2023). A Systematic Literature Review of Supply Chain Resilience in Small-Medium Enterprises (SMEs): A Call for Further Research. *IEEE Transactions on Engineering Management*, *70*(1), 328–341. https://doi.org/10.1109/TEM.2020.3016988

Bruckler, M., Wietschel. L., Messmann, L., Thorenz, A. & Tuma, A. (2024). Review of metrics to assess resilience capacities and actions for supply chain resilience. *Computers & Industrial Engineering*, *192*.

Chowdhury, M. M. H. & Quaddus, M. (2017). Supply chain resilience: Conceptualization and scale development using dynamic capability theory. *International Journal of Production Economics*, *188*(September 2015), 185–204. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.03.020

Christopher, M. & Peck, H. (2004). Building the resilient Supply Chain. *The International Journal of Logistics Management*, *15*(2), 1–13.

Curchod, M. & Alberto, C. (2014). Performance of Justice in Argentina. AHP Ratings Model". Aplicación de Multi-Metodologías. *La Gestión y Evaluación de Sistemas Sociales y Tecnológicos, Tomo II,* 35–45.

Forman, E. & Peniwati, K. (1998). Aggregating Individual Judgments and Priorities with the Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, *108*, 165–169.

Juttner, U. & Maklan, S. (2011). Supply chain resilience in the global financial crisis: An empirical study. *Supply Chain Management: An International Journal*, *16*(4), 246–259.

Khojasteh, Y. (2018). Supply chain risk management: Advanced tools, models, and developments. In *Supply Chain Risk Management: Advanced Tools, Models, and Developments* (pp. 1–334). https://doi.org/10.1007/978-981-10-4106-8

Linnenluecke, M. & Griffiths, A. (2010). Beyond adaptation: Resilience for business in light of climate change and weather extremes. *Bus. Soc*, *49*.

Martínez Rodríguez, E. (2007). Aplicación del Proceso Jerárquico de Análisis en la Selección de la Localización de una PYME. *Anuario Jurídico y Económico Escurialense*, *40*, 523–542.

Peck, H. (2005). Drivers of supply chain vulnerability: An integrated framework. *Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, *35*, 210–232.

Poulin, C. & Kane, M. B. (2021). Infrastructure resilience curves: Performance measures and summary metrics. *Reliability Engineering & System Safety*, *216*.

Saad, M. H., Hagelaar, G., van der Velde, G. & Omta, S. W. F. (2021). Conceptualization of SMEs' business resilience: A systematic literature review. *Cogent Business and Management*, *8*(1). https://doi.org/10.1080/23311975.2021.1938347

Saaty, T. (2008). Decision Making with the Analytic Hierarchy Process. *Int. J. Services Sciences*, *1*, 83–98.

Toskano Hurtado, G. (2015). El Proceso de Análisis Jerárquico como Herramienta para la Toma de Decisiones en la Selección de Proveedores. *Tesis de La Facultad de Ciencias Matemáticas. Universidad Nacional de San Marcos. Lima.Perú*. http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Basic/toskano_hg/toskano_hg.pdf.

Zhang, H., Jia, F. & You, J. X. (2023). Striking a balance between supply chain resilience and supply chain vulnerability in the cross-border e-commerce supply chain. *International Journal of Logistics Research and Applications*, *26*(3), 320–344. https://doi.org/10.1080/13675567.2021.1948978

E – Productos e Innovación

LA FIABILIDAD COMO HERRAMIENTA DE DIGITALIZACIÓN EN MÁQUINAS Y EQUIPOS

Gasparotti, Omar Darío; Monier, Eduardo Carlos

Universidad Tecnológica Nacional FRRA [1]
omarbgasparotti@gmail.com; ecmonier@gmail.com

RESUMEN
El presente trabajo tiene como objetivo proponer una sistemática para la identificación de variables a monitorear en la supervisión de la fiabilidad en los sistemas mecánicos.
Esta sistemática está dirigida a los equipos que se producen como única unidad o en bajas series, lo que dificulta la obtención de información histórica para la prevención de fallas obstaculizando el estudio clásico de la probabilidad de ocurrencia de la falla. A su vez, el enfoque Bayesiano o basado en el conocimiento tiene limitaciones debido a que existen escasos registros de las variables de influencia que afectan los componentes del propio equipo o máquina en operación.
Para analizar la fiabilidad en los equipos, se decidió utilizar como herramienta la combinación de bloques funcionales y el FMEA (Failure Mode and Effect Analysis). En la determinación de la fiabilidad de cada componente se estimaron las tasas instantáneas de fallas utilizando datos históricos afectados por las variables de operación, siguiendo los lineamientos y criterios del Handbook of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment, (Naval Surface Warfare Center Carderock Division, 2011). Esto permitió conocer la incidencia de las variables de operación en la fiabilidad del sistema mecánico.
La sistemática desarrollada se aplicó a componentes de un condensador evaporativo de serpentines, la identificación de los modos de fallos y su relación con las variables de influencia en operación. Esto, a su vez, permitió definir las variables a monitorear para poder anticipar las posibles fallas.
Esta sistemática encuentra aplicación en los procesos de mantenimiento basados en condición como el Mantenimiento Predictivo y el RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad), así como en los modelos prescriptivos actuales o Mantenimiento 4.0.
Las empresas del sector metalmecánico fabricante de bienes de capital pueden incorporar esta metodología en sus productos, contribuyendo a la digitalización de los equipos y la obtención de indicadores de fiabilidad operativa.

Palabras Claves: modos de fallos, equipos metalmecánicos, mantenimiento predictivo, mantenimiento i 4.0.

ABSTRACT
The objective of this work is to propose a system for the identification of variables to monitor in the supervision of reliability in mechanical systems.
This system is aimed at equipment that is produced as a single unit or in low series, which makes it difficult to obtain historical information for the prevention of failures, hindering the classic study of the probability of failure occurrence. In turn, the Bayesian or knowledge-based approach has limitations because there are few records of the influencing variables that affect the components of the equipment or machine itself in operation.
To analyze equipment reliability, it was decided to use the combination of functional blocks and FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) as a tool. In determining the reliability of each component, the instantaneous failure rates were estimated using historical data affected by the operating variables, following the guidelines and criteria of the Handbook of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment. This allowed us to know the impact of the operating variables on the reliability of the mechanical system.
The developed systematics were applied to components of a coil evaporative condenser, identifying the failure modes and their relationship with the influencing variables in operation. This, in turn, allowed us to define the variables to monitor in order to anticipate possible failures.
This systematic finds application in condition-based maintenance processes such as Predictive Maintenance and RCM (Reliability Centered Maintenance), as well as in current prescriptive models or Maintenance 4.0.
Companies in the metalworking sector that manufacture capital goods can incorporate this methodology into their products, contributing to the digitalization of equipment and obtaining operational reliability indicators.

Keywords: failure modes, metal-mechanical equipment, predictive maintenance, i 4.0 maintenance

1. INTRODUCCIÓN

“La fiabilidad se define como la probabilidad de que un producto, sistema o servicio realice su función prevista de manera adecuada durante un período de tiempo específico, o funcione en un entorno definido sin fallas”. (Solé, 1991)

La fiabilidad, y su estudio, es una temática que ha tenido sus orígenes a comienzos de la década de 1950 para reducir las fallas en equipos electrónicos que se comenzaban a incorporar en las armas.

Las primeras normas datan de esos años, y dieron origen al conocido MIL-HDBK-217-F. Este Handbook, y las normas MIL que lo originaron, se utilizaron para equipos y componentes electrónicos y exponen los conceptos básicos para determinar la fiabilidad y las funciones matemáticas que relacionan los distintos parámetros estadísticos que la determinan. Años más tardes esos conceptos se fueron difundiendo en el sector automotriz y las herramientas utilizadas para detectar modos de fallos en equipos electrónicos se comenzó a utilizar para sistemas mecánicos. Una de esas herramientas es el FMECA (Failure Mode, Effects Causes and Criticality Analysis) que se difundió en su versión FMEA (sin análisis de criticidad) en la industria automotriz, (SAE INTERNATIONAL, 2021).

Actualmente hay gran cantidad de normativa y metodologías reconocidas para identificar modos de fallos, como el mencionado FMEA. Las normas más difundidas son las que se utilizan como referencia en la implementación de sistemas de mantenimiento centrado en la fiabilidad (RCM).

El RCM es una metodología de análisis sistemática, que puede ser aplicada a cualquier tipo de instalación industrial. Analiza todos y cada uno de los sistemas y cómo estos pueden fallar funcionalmente. Los efectos de cada falla son clasificados de acuerdo con el impacto en la seguridad, la operación y el costo. Su éxito depende en gran medida de la experiencia de los participantes, como también en la posibilidad de contar con datos de tasa de fallas y períodos de ocurrencia registrados, información dificultosa de encontrar o elaborar en el común de las plantas.

Por otra parte, para la obtención de datos de mantenimiento, la tecnología de Internet de las cosas (IoT)/Industrial IoT (IIoT), está ganando más atención por parte de varias industrias debido a su capacidad de monitoreo de sensores en tiempo real, flexibilidad, escalabilidad, conectividad y ahorro de costos y tiempo. (Wankhede, 2023)

Esta facilidad, de contar con datos en tiempo real, permite realimentar sistemas de aprendizaje automático que ponen a disposición alternativas para la de toma de acciones, en las capas superiores del modelo de Arquitectura de Referencia de la Industria 4.0.

Ante este panorama, los fabricantes de bienes de capital, al ser proveedores de sectores (energía, minería, alimenticio) que implementan estos sistemas de mantenimiento, deben adecuarse para que sus equipos brinden la información necesaria para ser gestionados en el proceso productivo.

En operación, obtener datos de fallas y períodos de ocurrencia y llegar a algún tipo de clasificación, aplicando las actuales normas de gestión se hace difícil, pero más difícil aún es generar esa información para el fabricante de los equipos, ya que deben satisfacer las demandas de sus clientes construyendo equipos similares con requisitos diferentes cada vez.

Por esta razón, se hace necesaria la adaptación de las herramientas de análisis mencionadas a la fabricación de equipos de bajas series, proveyendo indicadores de fiabilidad propia del equipo en base a los aspectos constructivos y las variables que afectan directamente su comportamiento a la falla en operación. La metodología que se presenta intenta delinear una sistemática para responder a lo expuesto.

2. METODOLOGÌA

La metodología consiste en un proceso basado en documentos y normas que tratan el tema de la gestión de la fiabilidad y la gestión del mantenimiento (UNE- EN IEC-60812:2018, 2018). Los mismas sugieren el uso de algunas herramientas específicas y una secuencia de uso.

El proceso consiste en las siguientes etapas,

1. Identificación del equipo a analizar.
2. Recabado de información sobre conformación del sistema mecánico y definición del nivel de análisis.

3. Identificación y clasificación de los modos de fallos en operación.
4. Determinación de la probabilidad de ocurrencia de fallos para el subsistema o componente identificado.
5. Identificación de las variables de operación sobre la estimación de la tasa instantánea de fallas (λ).
6. Registro de las variables de operación y estimación de λ en el tiempo.

2.1. Identificación del equipo a analizar

Es necesario definir el equipo crítico que requiere ser supervisado para anticiparse a la falla. Factores de seguridad, operación y costo pueden ser motivos suficientes para tener en cuenta en la selección del equipo o activo a analizar. En bibliografía especializada, se encuentran criterios de clasificación de los equipos según su importancia o criticidad o ante un mal funcionamiento, las consecuencias que tiene para: la seguridad y el medio ambiente, la producción, la calidad y el mantenimiento. (Garrido, 2003)

2.2. Recabado de información sobre conformación del sistema mecánico y definición del nivel de análisis.

La información de partida debe estar a nivel de sistema. Un sistema incluye el equipamiento propiamente dicho (tanto hardware como software), las personas que lo operan y mantienen, así como los procedimientos para la operación y el mantenimiento. El sistema incluye también el entorno en el que funciona.

Los sistemas, a su vez, pueden estar constituidos por subsistemas, que pueden considerarse sistemas en sí mismos, y estos a su vez estar formados por componentes. La información que se necesita son planos generales y de conjunto, registros de montaje (instructivos, diagramas), registros de mantenimientos y reparaciones. Todo esto permitirá definir los bloques del sistema y la interacción entre ellos. Es importante el nivel al que se necesita llegar de análisis, si es de sistema, subsistema o componente.

2.3. Identificación y clasificación de los modos de fallos en operación.

Una herramienta conocida de aplicar para detectar modos de fallas asociados a sus causas y sus efectos es el FMEA o AMFE. La sistemática de implementación del FMEA requiere la conformación de un equipo participativo de análisis integrado por los intervinientes en el diseño, construcción, puesta en marcha, operación y mantenimiento del sistema en análisis. En muchas ocasiones este equipo de trabajo es difícil de conformar en una Pyme, por lo cual se recurre a una versión reducida de tabla FMEA y utilizando entrevistas de preguntas estructuradas con los involucrados.

La clasificación de los modos de fallos se puede obtener siguiendo los lineamientos y sugerencias de alguna de las normas o construir un criterio convenido entre el cliente y el proveedor. Por lo general, los criterios de clasificación involucran los aspectos de:

- la naturaleza del sistema con respecto a los posibles efectos sobre los usuarios y sobre el ambiente como resultado del fallo
- la funcionalidad del sistema o proceso
- cualquier requisito contractual impuesto por el cliente
- requisitos de seguridad industriales o gubernamentales
- requisitos involucrados por una garantía.

2.4. Determinación de la probabilidad de ocurrencia de fallos para el subsistema o componente identificado.

La probabilidad de ocurrencia del modo de fallo en un componente frecuentemente se determina a través de datos publicados en bases de datos históricos, considerando el perfil operativo (condiciones ambientales, esfuerzo mecánico o eléctrico aplicado) de cada componente que contribuye a la probabilidad de ocurrencia (IEC 60812). En lugar de la probabilidad de ocurrencia se utiliza la cantidad de fallos por millón de ciclos u horas de operación para dar un parámetro asociado a la fiabilidad del componente. Este parámetro se lo conoce como tasa instantánea de fallas o simplemente tasa de fallas, el cual pasa a ser un indicador numérico de la fiabilidad. La tasa instantánea de fallas, es identificada con la letra lambda (λ) y representa la probabilidad a la falla, de un elemento, en un determinado período de tiempo y en condiciones de funcionamiento determinadas.

Por esta razón la estimación de este parámetro adquiere gran importancia y se han desarrollado modelos con derivación en ecuaciones para cada modo de falla desde información de diseño y datos experimentales como contenidos en reportes técnicos y publicaciones. Estas ecuaciones fueron simplificadas y se mantuvieron aquellas variables que afectan la fiabilidad como se indica desde los datos de la experiencia de campo. Luego se consideran factores de modificación para cada variable a fin de reflejar su impacto cuantitativo en la tasa de fallas de una parte individual del componente. La tasa total de falla del componente es la suma de las tasas de falla para la parte del componente para un período de tiempo en cuestión. Este método es el seguido en este trabajo para la estimación de la tasa instantánea de fallas y se halla desarrollado en la Referencia, (Naval Surface Warfare Center Carderock Division, 2011).

2.5 Identificación de las variables de operación sobre la estimación de la tasa instantánea de fallas (λ).

En la estimación de la tasa instantánea de fallas intervienen variables físicas que evidencian el efecto sobre el deterioro de componentes críticos y que nos permitirán, de alguna manera, detectar de forma anticipada el modo de fallo. La identificación de las variables claves sobre la estimación de la tasa instantánea de fallas es de suma relevancia para la digitalización del proceso de supervisión del equipo identificado.

2.6. Registro de las variables críticas en operación y estimación de λ en el tiempo.

El registro de las variables en operación a períodos regulares y la estimación de la tasa instantánea de fallas, en el tiempo nos ofrece información sobre la exigencia a la que se expone el equipo en operación, permitiendo tomar acciones antes que se produzco una detención inesperada. Se construyen aplicaciones con tratamiento de los datos de sensores en tiempo real para brindar los datos de la tasa instantánea de fallas y de las variables de mayor incidencia y los componentes más afectados.

3. EQUIPO ESTUDIADO.

3.1. El condensador evaporativo o torre de enfriamiento

El condensador evaporativo de serpentines es un equipo que tiene la misión de extraer el calor del fluido refrigerante, de una instalación frigorífica industrial, luego del proceso de compresión mecánica. El fluido refrigerante ingresa al condensador en forma de vapor y sale en estado líquido con destino al depósito de líquidos, (Zamaro, 1973). Este tipo de condensadores se pueden dividir en cuatro subsistemas: el subsistema de intercambio de calor (caños con aletas), el subsistema de circulación de agua (depósito, las cañerías, los picos rociadores, la o las bombas centrífugas), el subsistema de circulación de aire (ventiladores, corta-gotas, persianas entrada) y el subsistema estructura (parantes, travesaños, fijaciones, paneles de chapas metálicas)

La bomba centrífuga en el circuito del condensador evaporativo de serpentines es la encargada de hacer circular el agua desde la pileta o depósito hasta los picos que rocían en finas gotas sobre los paquetes de caños para su refrigeración produciendo la condensación del fluido refrigerante.

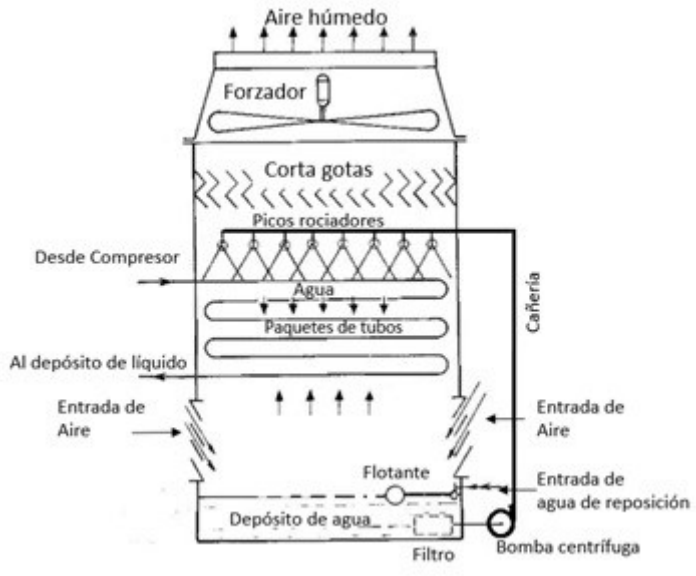


Figura N° 1. Bomba en Condensador evaporativo de serpentines

En una torre de enfriamiento es la que impulsa el agua de refrigeración desde la pileta al equipo intercambiador en el proceso y retorna a la torre inyectada por los picos en la parte superior.

3.2. Bomba centrífuga

Las bombas centrífugas pertenecen al grupo de las bombas rotodinámicas y la energía mecánica que se suministra al eje, se transforma en energía hidráulica.

Una bomba centrifuga es aquella que utiliza un impulsor para mover un líquido por efecto de la fuerza centrífuga. El fluido entra por el centro del impulsor, provisto de unos alabes, que impulsa dicho fluido que es recogido por el cuerpo o voluta por donde se conduce a la salida con una mayor energía de presión que a su entrada. (Val S. Lobanoff, 1992).

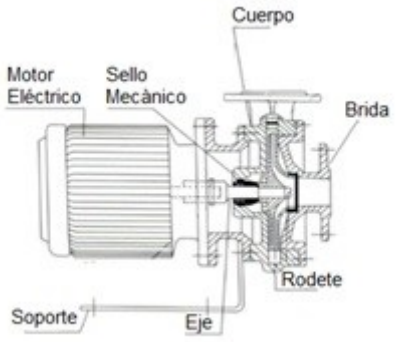


Figura N° 2. Partes principales de la bomba centrífuga.

3.2.1. Cuerpo o carcasa

El cuerpo o carcasa es el componente que contiene los elementos de la bomba. En su interior se le transmite la energía al fluido para que sea impulsado por su salida. Los cuerpos por lo general son de fundición mecanizada.

3.2.2. Impulsor o rodete.

Es el encargado de generar una depresión para permitir el ingreso del fluido a la carcasa y luego a través de sus álabes es acelerado para suministrar la energía cinética suficiente para impulsarlo por la salida. El rodete según el fluido a bombear es construido de distintos materiales (fundición, aluminio, bronce, polímero).

3.2.3. Eje

Es el encargado de transmitir la energía mecánica producida en el motor eléctrico al rodete de la bomba. Es construido en acero inoxidable o de acero con tratamiento superficial.

3.2.4. Rodamientos.

Los rodamientos son los que soportan al eje y son los que interactúan y reaccionan a los esfuerzos que se aplican sobre el rodete. En las bombas que se observaron son del tipo de bolas.

3.2.5. Sellos y juntas.

Las juntas que se utilizan son del tipo tórico (o-ring), las usadas usualmente, o plana de respaldo (junta plana). Los sellos mecánicos son elementos de estanqueidad dinámica que se utilizan para sellar fugas en la combinación de ejes y carcasas que presenten una velocidad relativa rotacional entre ellos. Consisten en dos elementos, uno fijo a la carcasa y otro móvil solidario al eje y que es presionado por un elemento elástico uno sobre otro. Uno es un material blando (por ejemplo: grafito) y otro de mayor dureza (por ejemplo: cerámica).

3.2.6. Motor

La energía rotacional es suministrada, por lo general por un motor eléctrico.

La mayoría de las partes mencionadas se pueden observar en la figura 2. Los rodamientos no se muestran. En este tipo de bombas de tipo monoblock dichos rodamientos son parte del motor eléctrico y de todas maneras son tenidos en cuenta en el análisis de modos de fallas.

4. CASO DE APLICACIÓN

El modelo fue aplicado a una torre de enfriamiento ubicada en una empresa autopartista del Parque Industrial de Rafaela. Esta empresa es proveedora a terminales automotrices. Las exigencias de calidad definen requisitos de registro de las variables de proceso y del mantenimiento de los equipos asociados. La temperatura del agua de refrigeración es una de ellas. En este caso la torre de enfriamiento es la encargada de mantener la temperatura del agua de refrigeración con el menor impacto ambiental posible.

Del FMEA mencionado en el apartado anterior y la clasificación de los modos de fallos se decidió elegir a la bomba centrífuga como componente a analizar.

4.1. Información sobre la estructura del sistema y determinación del nivel de análisis

Se reunió la información existente, imágenes de instalación, dimensiones, esquemas y catálogos con los despieces y detalles de los componentes. En el diagrama de la figura siguiente se pueden ver los componentes principales. El nivel de análisis al cual se llega es al de componente de la bomba.

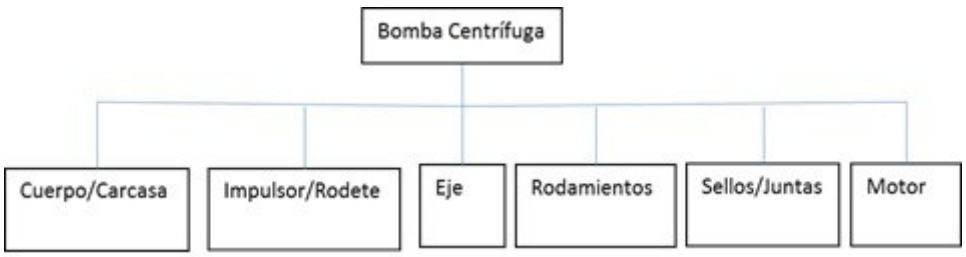


Figura N° 3. Árbol de componentes principales

4.2. Identificación y clasificación de los modos de fallos en operación.

En este caso se recurrió una sistemática simplificada utilizando una tabla FMEA o AMFE bastante comprimida como la que se puede observar en la tabla 1. Esta manera de implementarla tiene como objetivo recabar información de la funcionalidad de cada componente del sistema a estudiar, asociado a los posibles modos de fallos, las causas que lo originaron, los efectos que producen esos modos de fallos, y la manera de detectarlos.

Equipo / Sistema: Fecha:
Equipo FMEA: Preparado por:

Elemento	Función	Modos de falla	Causas de la falla	Efectos de fallas (Incluye Efectos locales y/o en otros subsistemas)	Formas de Detección de la Falla

Tabla 1. Tabla de trabajo FMEA utilizada.

Siguiendo el modelo de tabla FMEA propuesto, se relevaron en fabricantes de equipos, usuarios y personal de mantenimiento, los modos de fallas que usualmente se presentan en las bombas centrífugas de los condensadores evaporativos de serpentines y/o torres de enfriamiento. Los mismos se listaron y se clasificaron según la incidencia sobre cada componente de la bomba. Fig. N° 4 y 5



Figura N° 4. Modos de fallas por componente.



Figura N° 5. Bomba seleccionada.

4.3. Estimación de la tasa instantánea de fallas para la bomba centrífuga

El procedimiento de estimación de la tasa instantánea de fallas está basado en el Handbook of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment (Naval Surface Warfare Center Carderock Division, 2011), debido a que permite analizar las variables físicas que intervienen en cada ecuación que estima cada tasa de fallas de cada componente.

En esta base, se tiene que, los impulsores, ejes y carcasas son los componentes de la bomba que generalmente deberían tener una vida útil más larga en comparación con los cojinetes y los sellos. Para determinar adecuadamente la confiabilidad total de la bomba, se han desarrollado modelos de tasa de fallas para cada componente de la bomba.

La tasa total de fallas de la bomba es una combinación de las tasas de fallas de los componentes individuales. La tasa de falla de las bombas centrífugas se puede estimar utilizando la ecuación,

$$\lambda_B = \lambda_{SE} + \lambda_{EJ} + \lambda_{RO} + \lambda_{CU} + \lambda_{IM}$$

λ_B :Total de tasa instantánea de fallas en fallas/millón de horas de operación

λ_{SE} :Total de tasa instantánea de fallas para todos los sellos de la bomba, fallas/millón de horas de operación.

λ_{EJ} :Tasa instantánea de fallas para el eje de la bomba, fallas/millón de horas de operación.

λ_{RO} :Total de tasa instantánea de fallas para los rodamientos de la bomba, fallas/millón de horas de operación. (en este caso los rodamientos del motor eléctrico)

λ_{CU} :Tasa instantánea de fallas para el cuerpo de la bomba, fallas/millón de horas de operación.

λ_{IM} :Tasa instantánea de fallas para el impulsor o rodete de la bomba, fallas/millón de horas de operación.

Teniendo en cuenta el método de estimación propuesto por la bibliografía de referencia, para obtener la tasa instantánea de fallas, de la bomba en estudio, son necesarios tres tipos de datos,

- Datos de diseño de la bomba. Marca. Modelo. Motor. Dimensiones y características del eje, sellos estáticos y dinámicos, rodete de impulsión, carcasa, conexiones, rugosidad de asientos y eje, rodamientos.
- Parámetros de diseño. Valores máximos de presión, caudal, temperatura del fluido, corriente del motor, revoluciones por minuto, potencia eléctrica, tamaño del filtro utilizado, fuga de fluido admitida a través del sello.
- Datos de operación. Temperatura ambiente, temperatura del motor, temperatura del agua de refrigeración, presión de operación, caudal de operación, corriente de operación, horas de operación diaria.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	**Datos Operación**				**Datos de diseño**				**Datos de diseño**		
2	Temperatura Ambiente	24	°C		Bomba Czerweny	32-35-200-1			Sello Mecánico(*)	Carbón-Cerámica	
3	Temperatura Motor	60	°C		Motor	A90L2B			De: diámetro exterior sello (D3)	39	mm
4	Temperatura Agua	20,8	°C		Potencia Bomba Nominal	3,5	HP		Di: diámetro interior sello (D1, eje)	19	mm
5	Presión de Operación	4,1	bar		Corriente Maxima (Y)	6,8	A		PV (Tabla 3-9)	543000	lb/in2 ft/min
6	Caudal de trabajo	164,04	l/min		RPM de trabajo	2780					
7	Corriente Operación	5,63	A		Caudal Máximo de diseño	210	l/min		O Ring	Nitrilo	
8	Horas de marcha diaria	22	h		Presión Máxima de Diseño	49	mca		M: Meyer	500	lbs/in2
9					DN Aspiración	1,25	Inch		Cs: tensión de contacto	900	lbs/in2
10					DN Impulsión	1	Inch		Diametro Junta Toroidal	210	mm
11					Fluido	Agua			Diametro O Ring	3,4	mm
12					Diametro rodete	190	mm		Tamaño filtro	200	µm
13					Diametro eje rodete	19	mm		Temperatura máxima fluido	60	°C
14					Diametro eje motor	25	mm		Fuga Admitida	100	cm3/día
15					f: rugosidad eje (Ra)	0,8	µm				
16					Cantidad rodamientos de bolas	2			(*) Datos catálogo AF		
17											

Figura N° 6. Datos de entrada. Planilla de cálculos.

Para obtener la tasa instantánea de fallos se desarrolló una planilla de cálculos que estima la tasa de cada componente en base a los datos de diseño, parámetros de diseño y datos de operación. Estos datos se relacionan entre sí a través de ecuaciones empíricas que a la vez relacionan datos históricos y experimentales de tasas de fallas bases de cada componente o parte, según Fig. N° 6.

En este modelo se tuvieron en cuenta los componentes que son propios de las bombas centrífugas y que tienen una incidencia alta en la estimación numérica de la tasa instantánea de fallas, como lo son,

- Sellos estáticos, constituido por una junta toroidal (o-ring) que sella el cuerpo con la carcasa de la bomba y otra junta toroidal para retener la posible fuga a través del sello mecánico.
- Sello dinámico o sello mecánico, es el que sella la posible fuga entre el eje de la bomba y el apoyo en la carcasa de la bomba.
- Rodamientos, posee 2 rodamientos a bolas de la serie 6200 sobre el motor eléctrico.
- Impulsor de fluido, es un rodete de bronce para agua limpia

Se debe aclarar que, solamente, se tuvieron en cuenta las características mecánicas de la bomba para la estimación de la tasa de fallos.

Si bien, el eje y la carcasa son parte funcional de la bomba, su probabilidad de falla, frente a los componentes mencionados, es de algunos órdenes inferior y se optó por tomar valores fijos en función de las recomendaciones dadas por la bibliografía de referencia utilizada.

4.4. Identificación de las variables de operación sobre la estimación de λ.

En el mes de octubre entre los días 17 y 26 se obtuvieron datos de funcionamiento de la torre de enfriamiento emplazada en una empresa del Parque Industrial de Rafaela.

Con los datos de corriente de operación, y utilizando la información de la bomba, se obtuvieron los datos de caudal y altura manométrica. Ingresando estos datos en el modelo planteado se obtuvieron los valores de tasa instantánea, buscados.

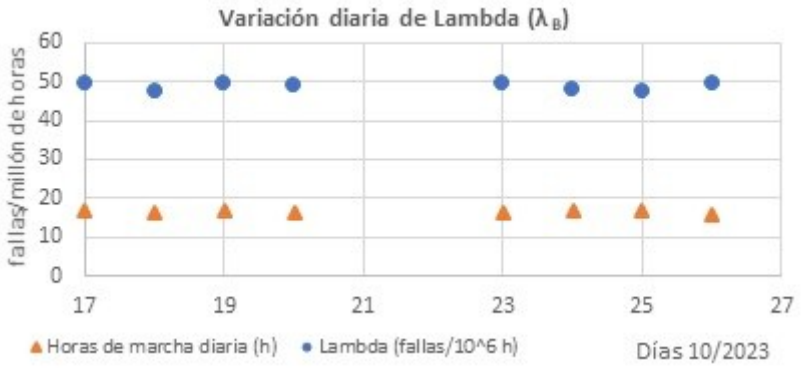


Figura N° 7. Datos de tasa instantánea de fallas (ʎ).

La figura 7 muestra los valores de ʎ obtenidos para cada día y las horas de marcha de la bomba. Se puede observar la variación de la tasa instantánea de fallas obtenidos al aplicar el modelo y la evolución de las horas de marcha.

Calculando el promedio de la tasa instantánea de fallas (ʎ), para esos días, y asumiendo una distribución normal, se puede estimar el tiempo medio entre fallos (en inglés MTBF)

$$MTBF = \frac{10^6}{(ʎpromedio \cdot Horas\ de\ marcha)} = 1242\ horas$$

Para el tipo de bomba, uso, parámetros de operación (filtro, condiciones del fluido, ubicación, suministro eléctrico) que se le da, y según registros de mantenimiento de equipos similares, es un período habitual de mantenimientos a la falla.

Teniendo este modelo de estimación de la tasa instantánea de fallos se puede analizar la incidencia que tiene cada variable en la tasa instantánea de fallas. Las variables más representativas se muestran en las figuras siguientes,

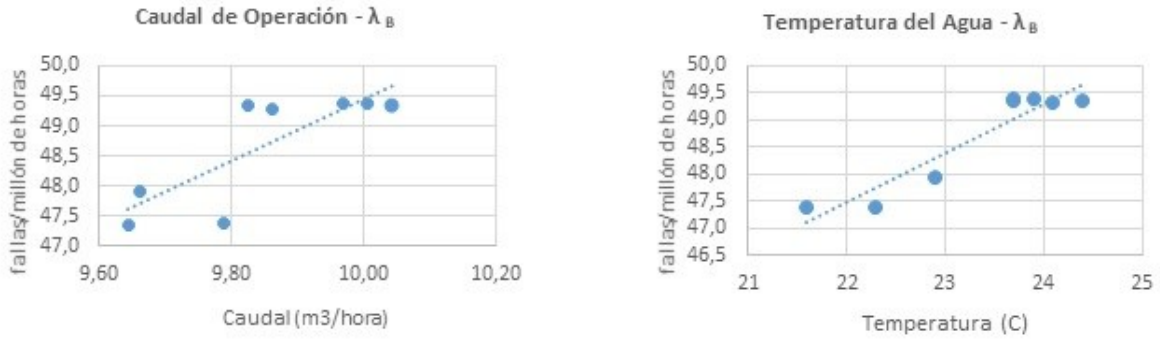


Figura N° 8. Incidencia de la temperatura y el caudal en la determinación de la tasa instantánea de fallas.

Si bien es una bomba que no está sometida a grandes variaciones en su operación se puede observar, en las figuras anteriores, que las variaciones de temperatura del fluido que impulsa y el caudal influyen sobre la estimación de la tasa instantánea de fallas. No muestra lo mismo el tiempo de marcha que terminará incidiendo para determinar el tiempo medio a la falla.

Las variables evidencian su impacto en la fiabilidad de los componentes del sistema en estudio. En la Fig. N° 9, se puede observar la contribución de la tasa instantánea de fallas de cada componente en la estimación del sistema en su conjunto, con los datos del último día de registro. Sobre el eje de las abscisas se leen cantidad de fallas por millón de horas de operación.

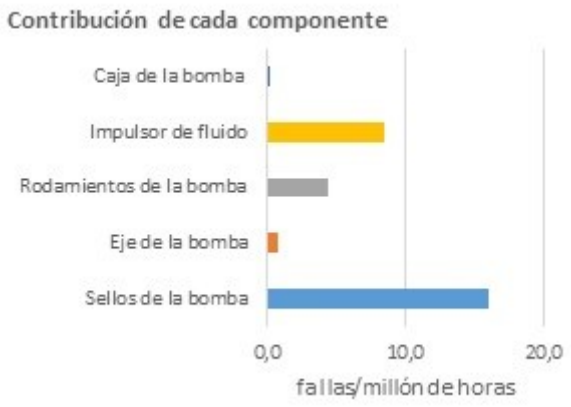


Figura N° 9. Contribución de componente a la estimación de la tasa instantánea del sistema.

Los parámetros de operación fueron adoptados según información del fabricante u operador del equipo y bibliografía de referencia. De todas maneras, variaciones en estos parámetros y como es de esperar, impactan en una gran medida en la estimación de la tasa instantánea de fallas. Para dar un ejemplo, como el modelo responde, cambiamos el valor del tamaño de la malla de filtrado de 200 um (la que está colocada en la torre de enfriamiento) por una de 100 um y observamos el cambio sobre la contribución de cada componente.

Las consecuencias se evidenciaron, en una reducción de la tasa instantánea de fallas (λ) de un 40% aproximadamente, a causa de la posible disminución del desgaste del impulsor y los sellos debido a la presencia de partículas de menor tamaño en el fluido.

4.5. Registro de las variables de operación y estimación de la tasa instantánea de fallas (λ) en el tiempo.

Las variables de operación fueron registradas a intervalos de 2 veces al día y alimentaron los modelos implementados a través de módulos de software que devolvieron los valores de la tasa instantánea de fallas. De esta manera dichos módulos fueron validados con las planillas de cálculo iniciales como la Fig. N° 10.

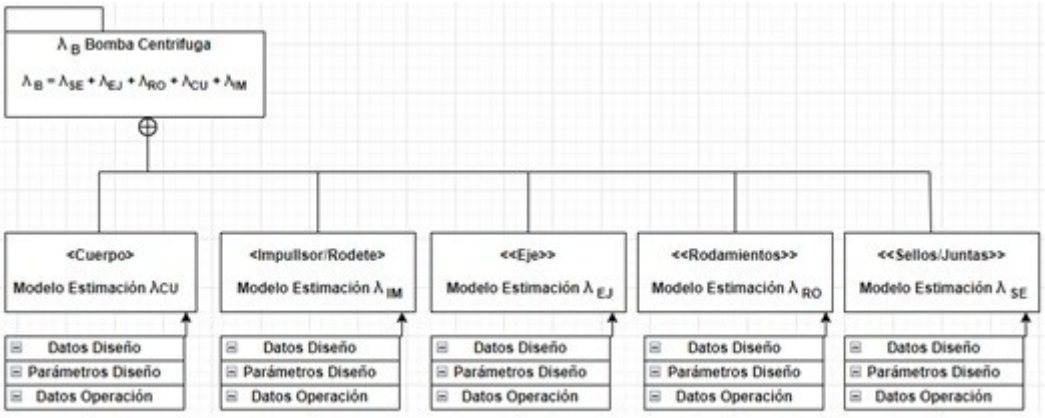


Figura N° 10. Diagrama UML de módulos de software.

Esto permitirá analizar periódicamente y de manera automática los datos que se adquieran en tiempo real en caso de ser necesario. El dato de la estimación de la tasa instantánea de fallos nos brinda información de la velocidad con que se están degradando los componentes de la bomba supervisada, pudiendo de esta manera gestionar de manera eficiente los ciclos de marcha y parada con módulos adaptados que muestra la Fig. N° 11.

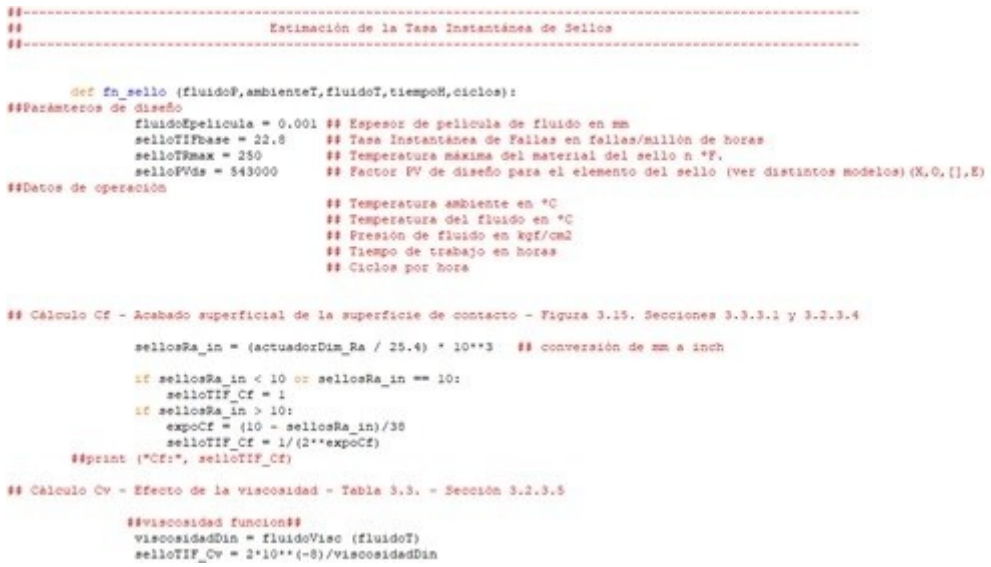


Figura N° 11. Imagen módulo de software. Tasa instantánea de fallas sellos mecánicos.

5. CONCLUSIONES.

El método desarrollado está concentrado en la identificación de los modos de fallas y la determinación de la tasa instantánea de fallas, ya que estos elementos permiten guiar el reconocimiento de las variables a registrar. Variables que detectan un cambio en el comportamiento del equipo y que ponen en evidencia los modos de fallos.

Las variables registradas son insumo para los módulos de software encargados de obtener el dato de tasa instantánea de fallas para distintos componentes posibilitando supervisar la fiabilidad de sistemas de distinta complejidad.

Por lo expuesto, la metodología desarrollada permite,

- Contar con un modelo estándar para evaluar a la fiabilidad distintas versiones de un mismo sistema mecánico antes de ser producido.
- Mostrar el efecto de las variables de operación y de los parámetros de operación de manera anticipada y con pocos datos obtenidos de campo.
- Digitalizar el proceso de supervisión minimizando riesgos y optimizando el tiempo de implementación debido a que, conociendo las variables a registrar, da información para seleccionar los sensores, equipo de registro de datos y comunicación adecuados, así como los protocolos de comunicación y el tipo de contratación de servicios de datos que mejor se ajusten a los requerimientos.

5. REFERENCIAS.

Garrido, S. G. (2003). *Organización y Gestión Integral de Mantenimiento.* Madrid: DIaz de Santos.

Naval Surface Warfare Center Carderock Division. (2011). *Handbook of Reliability Prediction Procedures forn Mechanical Equipment.* Maryland: CARDEROCK DIVISION.

SAE INTERNATIONAL. (2021). Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) Including Design FMEA, Supplemental FMEA-MSR, and Process FMEA. *SAE INTERNATIONAL*, J1739_202101.

SAE The Engineering Society For Advancing Mobility Land Sea Air and Space. (2002). Surface Vehicle/Aerospace Recommended Practice. En N. SAE, *SAE The Engineering Society For Advancing Mobility Land Sea Air and Space* (pág. SAE JA1012). -: SAE.

Solé, A. C. (1991). *Fiabilidad y seguridad de procesos industriales.* Barcelona, España: MARCOMBO SA.

UNE - EN 60812:2006. (2006). *Técnicas de análisis de la fiabilidad de sistemas. Procedimiento de análisis de los modos de fallo y de sus efectos (AMFE). (IEC 60812:2006). (Ratificada por AENOR en mayo de 2007.).* Madrid: AENOR-NORMAS.

UNE- EN IEC-60812:2018. (2018). Análisis de los modos de fallo y de sus efectos (AMFE y AMFEC). (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en noviembre de 2018.). *UNE Normalización Española*, -.

Val S. Lobanoff, R. R. (1992). *CENTRIFUGAL PUMPS - Design & Application.* Houston,TX: Gulf Publishing Company.

Wankhede, V. V. (2023). Application of Graph Theory Approach for Analyzing IoT Challenges in Maintenance Parameters Monitoring. En A. S. Chakrabarti, *Industry 4.0 and Advanced Manufacturing* (págs. -). Singapore: Lecture Notes in Mechanical Engineering.

Zamaro, L. T. (1973). *Técnicas de las instalaciones frigoríficas industriales (T.I.F.I).* Buenos Aires: Melior.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer a la empresa VMG SA., por proveer de los equipos para datos y análisis, y a UTN Facultad Regional Rafaela por darnos el espacio de investigación para concretar el presente estudio.

"SISTEMA DE MONITOREO DE MOTORES ELÉCTRICOS CON ARDUINO UNO E INTERFAZ WEB"

Patricio Gonzalez Viescas, Mechulán Sardella, Juan Cruz; Blazquez, Jerónimo; Conalbi, Angélica; Durany, Martina

Universidad de Mendoza
patricio.gonzalez@um.edu.ar; j.mechulan@alumno.um.edu.ar; a.conalbi@alumno.um.edu.ar; j.blazquez@alumno.um.edu.ar; m.durany@alumno.um.edu.ar

RESUMEN

El presente trabajo aborda el desarrollo de un sistema de monitoreo para motores eléctricos de corriente alterna (CA) utilizando la plataforma Arduino. El sistema mide variables clave como temperatura, corriente, tensión y revoluciones por minuto (RPM), permitiendo su visualización en tiempo real a través de una interfaz web. El objetivo principal es ofrecer una solución económica y eficaz para la supervisión y el mantenimiento predictivo de motores CA en entornos industriales.

El trabajo incluyó la selección y programación de la placa Arduino Uno, la integración de sensores específicos, y el diseño de una aplicación web basada en Node.js y JavaScript para la visualización de los datos.

Su aplicación en entornos industriales tiene un gran potencial, dado que proporciona una herramienta accesible y flexible para el monitoreo y análisis de motores eléctricos.

Palabras clave: Monitoreo de motores, Arduino, Mantenimiento predictivo, Sensores industriales, Automatización industrial.

ABSTRACT

This work addresses the development of a monitoring system for alternating current (AC) electric motors using the Arduino platform. The system measures key variables such as temperature, current, voltage, and revolutions per minute (RPM), enabling real-time visualization through a web interface. The primary objective is to offer an economical and efficient solution for the supervision and predictive maintenance of AC motors in industrial environments.

The project involved selecting and programming the Arduino Uno board, integrating specific sensors, and designing a web application based on Node.js and JavaScript for data visualization.

Its application in industrial settings has great potential, providing an accessible and flexible tool for monitoring and analyzing electric motors.

Keywords: Motor monitoring, Arduino, Predictive maintenance, Industrial sensors, Industrial automation.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Problemática

El mantenimiento preventivo de motores y el comportamiento energético de los mismos representan dos desafíos fundamentales en la industria y el sector comercial. Los motores de corriente alterna (CA) son componentes esenciales en una amplia gama de aplicaciones, desde maquinaria industrial hasta sistemas de climatización y transporte. La ineficiencia en su funcionamiento y la falta de un monitoreo en tiempo real pueden tener un impacto significativo en la eficiencia operativa y causar costosos fallos o interrupciones en la producción. Además, el uso ineficiente de la energía en estos motores contribuye a un mayor consumo y desperdicio de recursos, lo que no solo representa un problema económico, sino también un desafío para la sostenibilidad y la conservación de energía.

1.2. Nuestro Desafío

El enfoque del proyecto consiste en la creación de una plataforma de monitoreo que utiliza el Arduino Uno y sensores especializados para medir variables críticas. Este sistema permitirá a los usuarios obtener información en tiempo real sobre el estado de sus motores CA y tomar decisiones informadas para el mantenimiento preventivo y la optimización energética. Al hacerlo, se abordan los problemas generales de mantenimiento y eficiencia energética en motores CA, al proporcionar una solución tecnológica innovadora y accesible que tiene el potencial de impactar positivamente en la industria y en las operaciones comerciales.

2. PLACA ARDUINO UNO

2.1. Introducción

Arduino Uno es una plataforma de creación de programas de código abierto que se basa en el microcontrolador ATmega328. Este dispositivo es ampliamente utilizado en proyectos de electrónica y programación debido a su versatilidad y facilidad de uso. (*What Is Arduino?*, n.d.)

El propósito de la plaqueta es la recolección de información transmitida por los sensores conectados al motor de corriente alterna y la transmisión de la misma hacia un servidor web.

El flujo de información del proyecto es el siguiente.

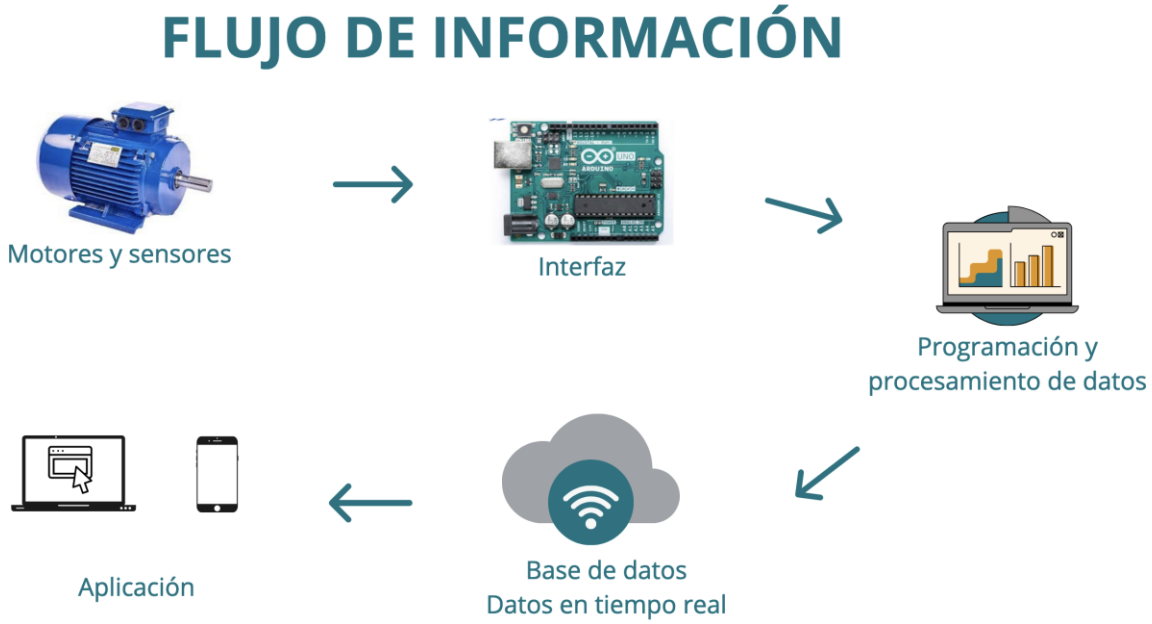


Fig N°1: Diagrama de flujo de la información

2.2. ¿Por qué Arduino UNO?

Aunque otros dispositivos pueden superar al Arduino Uno en muchos características técnicas como la frecuencia del CPU, cantidad de pines de entrada y salida, capacidad de la memoria interna, entre otros, se considera que el Arduino Uno es la opción más lógica debido a su simplicidad, costo y accesibilidad en el mercado Argentino. (*UNO R3*, n.d.)

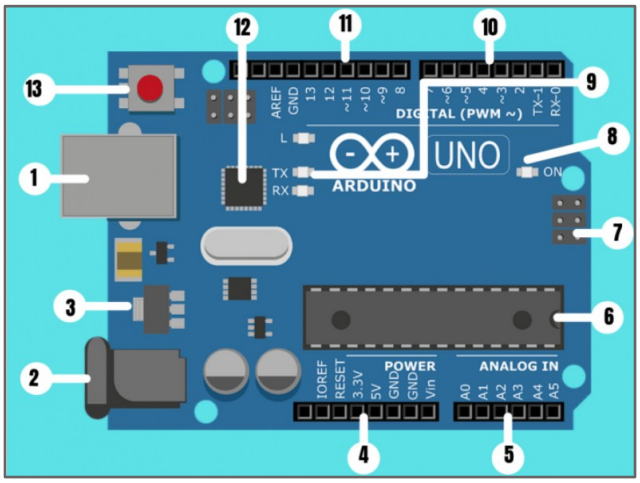


Fig. N°2: Ilustración plaqueta Arduino UNO

3. MOTOR ELÉCTRICO DE CORRIENTE ALTERNA

La introducción de los motores en la industria, cómo su incorporación, ha sido crucial para la automatización y la mejora de la eficiencia en numerosos procesos industriales. Se tomó en consideración los dos tipos de motores eléctricos que rigen la industria actualmente, los monofásicos y trifásicos. Los motores monofásicos de corriente alterna (CA) son comúnmente utilizados en aplicaciones industriales más pequeñas debido a su simplicidad, bajo costo y facilidad de instalación. Por otro lado, los motores trifásicos son más eficientes y adecuados para aplicaciones que requieren una mayor potencia, aunque requieren una red eléctrica trifásica.

Se decidió seleccionar un motor monofásico de 0,5 HP, de la marca Fluvial y modelo Nero (*Selección Adecuada*, n.d.). La elección del mismo fue tomada por su versatilidad, facilidad de operación y arranque directo desde la línea eléctrica. Estas características lo hacen ideal para aplicaciones industriales que requieren un motor de tamaño moderado. Además, la capacidad de este motor para interactuar eficazmente con Arduino Uno es una ventaja significativa, ya que permite un control y monitoreo preciso, asegurando que el sistema funcione de manera óptima y proporcione datos fiables.

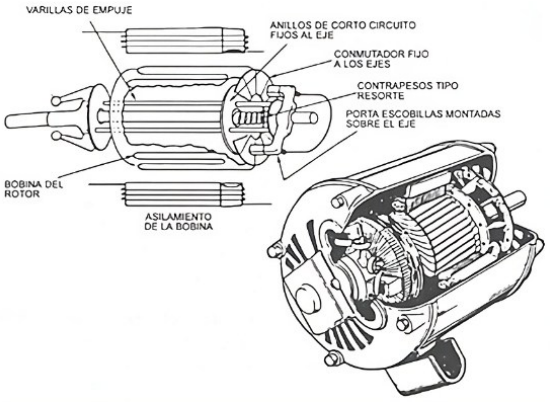


Fig. N°3: Composición de un motor AC

4. SENSORES

La implementación de sensores adecuados a las necesidades de medición del proyecto es crucial para la obtención de datos confiables y certeros en tiempo real. Estos están encargados de medir variables claves como corriente, tensión, RPM y temperatura.

Este capítulo se centra en explorar las especificaciones y capacidades de estos dispositivos, subrayando su papel crucial en la adquisición de datos precisos y confiables.

4.1. Sensor de Temperatura: DS18B20

Se mide la temperatura de un motor utilizando el sensor DS18B20 (*Sensor Digital De Temperatura DS18B20*, n.d.) conectado a una placa Arduino. El sensor recopila datos de temperatura, que son procesados por la placa Arduino y transmitidos a través de un puerto USB para ser mostrados en la página web. Esto permite a los usuarios monitorear la temperatura del motor en tiempo real. La conexión entre el sensor y el Arduino se realiza mediante un protoboard, facilitando la adquisición y transferencia de datos para su visualización y análisis.

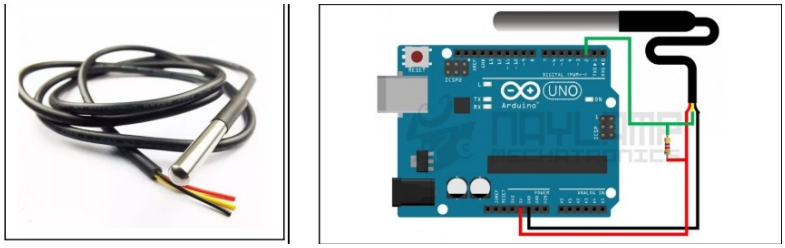


Fig. N°4: Sensor de temperatura DS18B20

4.2. Sensor de Corriente no invasivo

El sensor de corriente no invasivo SCT-013 (*Sensor De Corriente AC No Invasivo SCT-013*, n.d.) fue elegido por su facilidad de instalación, ya que este no requiere alterar físicamente el cable conductor. Este sensor tiene un amplio rango de medición de hasta 100 amperios, lo que lo hace adecuado para diversas aplicaciones. Además, su salida análoga facilita la integración con Arduino Uno para el procesamiento de datos. Es conocido por su precisión y confiabilidad en la medición de corriente, lo que es crucial para un monitoreo preciso del motor. Requiere una conexión de alimentación de 5V y tierra al Arduino para su funcionamiento.

El sensor de corriente no invasivo SCT-013 funciona mediante el efecto de transformación de corriente. Al fluir corriente alterna (CA) a través del conductor donde se coloca el sensor, se genera un campo magnético. El sensor usa una bobina y un núcleo magnético para detectar este campo y convertirlo en una señal eléctrica proporcional a la corriente. Esta señal aparece como una tensión alterna en la salida del sensor, y su amplitud refleja la corriente que pasa por el conductor.

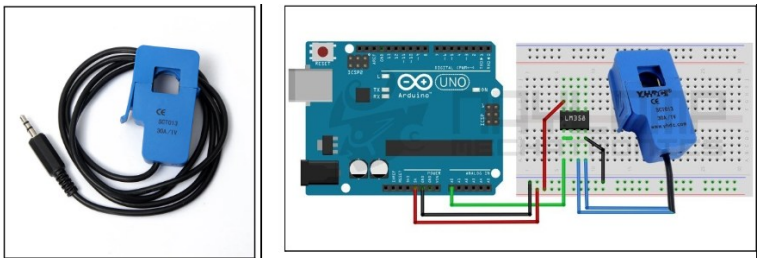


Fig. N°4: Sensor de corriente no invasivo

4.3. Sensor de Tensión

Para la obtención de la tensión utilizada por el motor de corriente alterna se utiliza el sensor ZMPT101B (*Sensor Digital De Temperatura DS18B20*, n.d.). El sensor recopila datos de tensión y los transmite al Arduino.

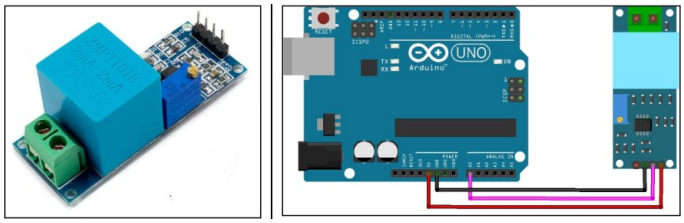


Fig. N°5: Sensor de tensión

4.4. Sensor de RPM: LM393 Speed Sensor

El Sensor de RPM LM393 (*Interfacing LM393 Speed Sensor With Arduino*, n.d.) también conocido como Speed Sensor, mide la velocidad de rotación de un motor utilizando un comparador de tensión LM393. Funciona detectando cambios en la luz reflejada por un objeto con ranuras que pasa frente a un fotodiodo. Esta variación se convierte en una señal eléctrica que el comparador procesa. Elegimos este sensor por su simplicidad y eficacia en la medición de RPM sin necesidad de conexión física directa al motor. Para integrarlo con Arduino Uno, se utiliza un pin digital para contar los pulsos generados por el sensor. Se diseñó y fabricó un disco con ranuras para montar en el eje del motor, este elemento fue fabricado con un material especial llamado PETG para soportar altas temperaturas. Este sensor permite medir las RPM de manera precisa y no intrusiva, facilitando su uso en nuestro proyecto de monitoreo.

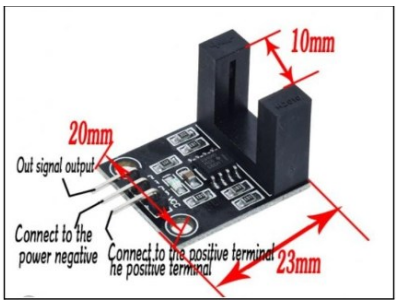


Fig. N°6: Sensor de rpm LM393

5. PROGRAMACIÓN

La programación se basó en dos pilares fundamentales para el correcto funcionamiento del sistema, por un lado, la del dispositivo Arduino UNO el cual tiene como principal función recolectar la información enviada por los sensores pertinentes, realizar cálculos y filtrar todos los datos relevantes, y el otro pilar, la programación de la interfaz web, que abarca desde la recepción de los datos enviados desde el Arduino, la creación y actualización de la base de datos, el backend y el frontend de la página web.

5.1. Programación Arduino

El código desarrollado permite la lectura y transmisión de datos desde los sensores desarrollados en capítulos anteriores para el correcto monitoreo del motor eléctrico de corriente alterna (CA). Este sistema recoge información sobre la temperatura, corriente y tensión del motor, la cual es transmitida en tiempo real a una página web para su visualización.

El código comienza importando las librerías necesarias y definiendo las conexiones para los sensores.

Luego, en la función de configuración setup(), se inicializan la comunicación serial y los sensores.

En el ciclo principal loop(), se realizan las lecturas de las variables clave:

- Tensión: Se obtiene del sensor ZMPT101B, conectado al pin analógico A1.
- Temperatura: Se mide con el sensor DS18B20, conectado al pin digital 2.
- Corriente: Se calcula mediante mediciones sucesivas y un procesamiento matemático que determina la corriente eficaz, un valor crítico en aplicaciones eléctricas.
- Revoluciones por Minuto: Se calcula la velocidad en revoluciones por minuto utilizando una interrupción configurada en el pin digital 3. El valor se ajusta para evitar falsos positivos.

Tras obtener estos datos, el Arduino los envía a través del puerto serial, lo que permite que sean capturados por Node.js y posteriormente desplegados en una página web. El proceso se repite cada 100 milisegundos, asegurando un monitoreo continuo y en tiempo real.

5.2. Programación Interfaz Web

La página web proporciona a los usuarios una interfaz amigable y visual para acceder a los datos recopilados en tiempo real por el Arduino.

El desarrollo de la página web se basó en un conjunto de tecnologías que abarcan desde la simulación del proyecto hasta el despliegue de toda la infraestructura:

- Node.js: Utilizado como plataforma de desarrollo del servidor, permite construir aplicaciones web rápidas y escalables utilizando JavaScript.
- Express.js: Framework de Node.js que facilita la creación de aplicaciones web y API robustas, gestionando rutas, vistas y la lógica del servidor.
- Socket.io: Biblioteca que habilita la comunicación en tiempo real entre el servidor y el cliente, ideal para la transmisión de datos en tiempo real desde el Arduino.
- HTML y CSS: Utilizados para estructurar y estilizar las páginas web, creando una interfaz visualmente atractiva y adaptativa.
- JavaScript: Lenguaje de programación para la interacción del lado del cliente, facilitando la dinámica de la página web.
- Chart.js: Biblioteca de JavaScript utilizada para la creación de gráficos interactivos que representan los datos de los sensores en tiempo real.

5.2.1. Interfaz del usuario

La página de índice muestra una lista de motores en un diseño de cuadrícula. Cada motor está representado por una tarjeta que incluye el nombre del motor, la potencia en HP y una barra de potencia que representa visualmente la potencia del motor. El largo de la barra de potencia es proporcional a la potencia del motor. Cada tarjeta también incluye un botón "Detalles" que enlaza con una vista detallada del motor.

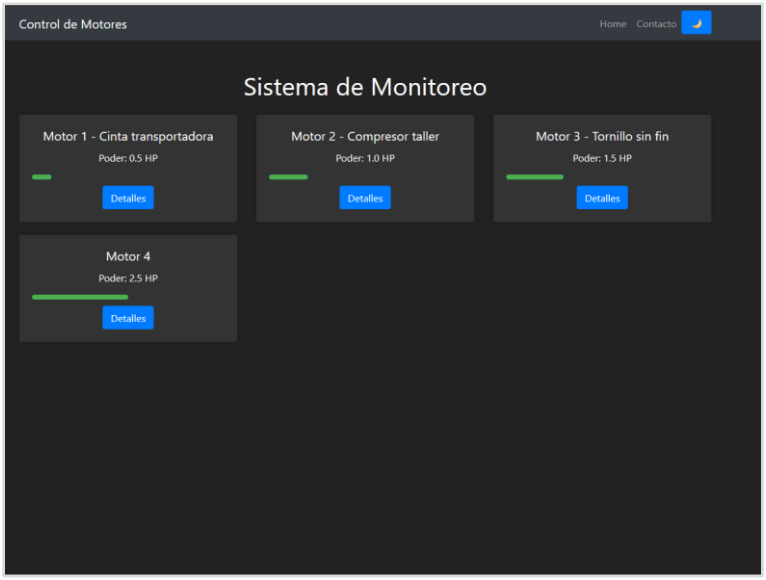


Fig. N°7: Página de inicio interfaz Web

La vista detallada proporciona más información sobre el motor, como su tensión, corriente, temperatura y RPM.

La página “Detalles de Motor” muestra una tarjeta con las características constructivas del motor, como tensión, RPM, corriente, frecuencia, temperatura máxima y potencia nominal. Cada característica está representada por un elemento de lista en la tarjeta. La página también incluye un botón "Gráficos en vivo" que enlaza con un gráfico en vivo del rendimiento del motor. Esto permite a los usuarios monitorear el rendimiento del motor en tiempo real. La página “Detalles de Motor” está diseñada para brindar a los usuarios toda la información que necesitan para monitorear y administrar sus motores de manera efectiva.

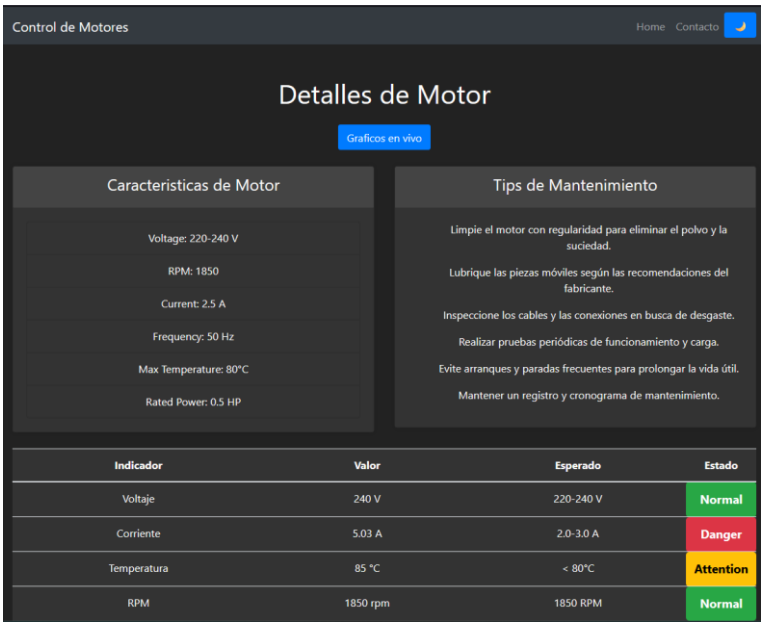


Fig. N°8: Página de Detalle de motor

Para proporcionar una comprensión instantánea del estado de los motores, se han implementado indicadores de estado en el “Detalles de Motor”. Estos indicadores se basan en umbrales predefinidos para tensión, corriente, temperatura y RPM. Cambian de color y texto en función de si los valores están dentro de los límites aceptables.

- Indicador de Tensión: Cambia de verde a amarillo si el tensión está fuera del rango aceptable y a rojo si está en un estado crítico.
- Indicador de Corriente: Funciona de manera similar al indicador de tensión y proporciona información visual sobre la corriente eléctrica.
- Indicador de Temperatura: Advierte a los usuarios si la temperatura está cerca de un nivel peligroso o crítico.
- Indicador de RPM: Permite a los usuarios saber si las RPM del motor están en un estado normal o si se han desviado de manera significativa.

Por último, se implementó la representación visual de datos la cual es esencial para que los usuarios comprendan rápidamente el estado de los motores eléctricos. Se utilizan gráficos y elementos visuales para mostrar los valores clave, que incluyen tensión, temperatura, RPM y corriente.

La biblioteca Chart.js se ha implementado para crear gráficos dinámicos en tiempo real.

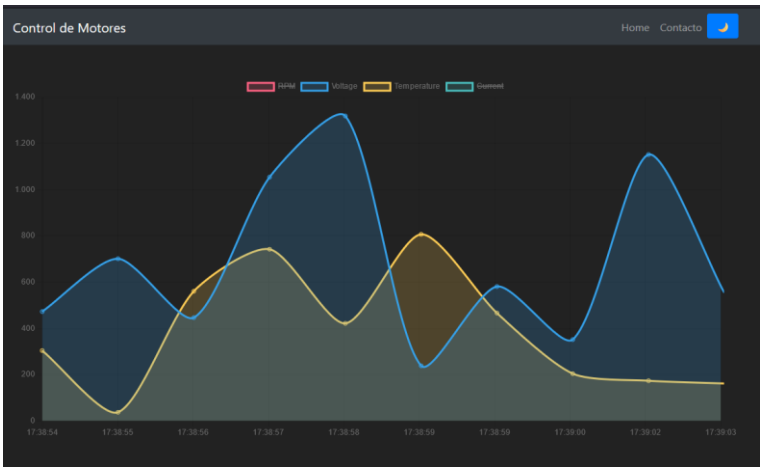


Fig. N°9: Gráficos en tiempo real

Todo el código utilizado se encuentra disponible en GitHub (*ArduinoDashboard*, n.d.).

6. COSTOS DEL PROYECTO

A continuación, se presenta una lista detallada de los materiales, sensores y periféricos utilizados. Esta tabla proporciona una visión general de los materiales utilizados en nuestro proyecto y sus costos en pesos y en dólar paralelo.

Tabla 1 Insumos y costos.

Dispositivo	Tipo	Detalle	Cantidad	Precio por unidad	Precio Total	Sitio de compra
Motor	Monofásico	CA//0,5-1HP//50HZ	1	$56.000,00	$56.000,00 (42,91 usd)	Mercado libre
Arduino	Microcontrolador	Arduino UNO	1	$10.400,00	$10.400,00 (7,97 usd)	Mercado libre
Temperatura	Sensor	DS18B20	1	$2.000,00	$2.000,00 (1,53 usd)	Electrónica Gavi
Temperatura	Resistencia	4,7k Ohm	1	$40,00	$40,00 (0,03 usd)	Mercado libre
Revoluciones	Sensor	Efecto Hall A3144	3	$2800,00	$8400,00 (6,44 usd)	Mercado libre
Revoluciones	Sensor	Sensor LM393 infrarrojo	1	$4200,00	$4200,00 (3,22 usd)	Mercado libre
Voltímetro	Tabla de circuitos	Protoboard	1	$3.500,00	$3.500,00 (2,68 usd)	Electrónica Gavi
Voltímetro	Sensor	Sensor tensión ZMPT101B	1	$5.650,00	$5.650,00 (4,33 usd)	Mercado libre
Amperímetro	Sensor	Sct013 Hall Arduino	1	$20.000,00	20.000,00 (15,33 usd	Electrónica Mendoza
Accesorios	Cableado, impresiones, etc.		1	$10.000,00	$10.000,00 (7,66 usd)	Casa de electrónica, Librería
Amperímetro	Amplificador	Lm358	1	$1500,00	$1500,00 (1,15 usd)	Electrónica Mendoza
Total				**$116.090,00**	**$121.690,00 (93,25 usd)**	

Se puede observar que la implementación de un dispositivo como el realizado en el proyecto ronda los $94 USD de costo de materiales e insumos.

En el mercado de hoy un dispositivo de características similares como el desarrollado es el Fluke 438-II (*Analizador De Calidad Eléctrica Y Motores Fluke 438-II*, n.d.) el cual su valor ronda unos $5.000USD con accesorios. Este dispositivo está reforzado para la utilización en ambientes industriales y cuenta con soporte técnico y capacitaciones constantes.

Esto nos indica que el dispositivo con sus sensores es la solución más fácil de implementar y a la vez la más económica dentro del mercado. Brinda confiabilidad a la hora de tomar decisiones por la gran precisión de sus sensores y así poder generar una mayor vida útil del motor de CA en la empresa o entorno industrial.

7. CONCLUSIÓN

Tras concluir el desarrollo, la investigación y la programación del proyecto propuesto, se implementó un prototipo que permitió validar la solución planteada. No solo se demostró que es una respuesta efectiva al problema del monitoreo de motores de corriente alterna, sino que también se comprobó su viabilidad tanto técnica como económica.

Este sistema de monitoreo constante de las condiciones de los motores ofrece una ventaja significativa: permite extender su vida útil en comparación con el enfoque correctivo, donde se interviene solo después de una falla. Además, en el contexto del mantenimiento preventivo, la obtención de datos precisos no solo facilita la anticipación de problemas, sino que también contribuye a preservar la seguridad del personal encargado del mantenimiento.

8. REFERENCIAS

Analizador de calidad eléctrica y motores Fluke 438-II. (n.d.). Fluke Corporation. https://www.fluke.com/es-mx/producto/comprobacion-electrica/calidad-electrica/438-ii

ArduinoDashboard. (n.d.). GitHub. https://github.com/Pomel-c/ArduinoDashboard

Interfacing LM393 speed sensor with Arduino. (n.d.). Electronics Projects. https://electronicsprojects.in/interfacing/interfacing-lm393-speed-sensor-with-Arduino/

Selección adecuada. (n.d.). Roydisa. https://www.roydisa.es/archivos/3012

Sensor de corriente AC no invasivo SCT-013. (n.d.). Naylamp Mechatronics. https://naylampmechatronics.com/blog/51_tutorial-sensor-de-corriente-ac-no-invasivo-sct-013.html

Sensor digital de temperatura DS18B20. (n.d.). Naylamp Mechatronics. https://naylampmechatronics.com/blog/46_tutorial-sensor-digital-de-temperatura-ds18b20.html

UNO R3. (n.d.). Arduino Documentation. https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3/

ZMPT101B voltage sensor module with Arduino. (n.d.). DIY Projects Lab. https://diyprojectslab.com/zmpt101b-voltage-sensor-module-with-Arduino/

"EVALUACIÓN DEL NIVEL DE ACEPTACIÓN OPERATIVO Y PRODUCTIVIDAD EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BICICLETAS"

Fornari Javier, Rocchia Nahuel, Monier Eduardo, Odetto Fabio Marcelo

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Rafaela
javier.fornari@frra.utn.edu.ar; nahuerocchia@gmail.com; fabio.odetto@outlook.com; ecmonier@gmail.com

RESUMEN

Este estudio se enfoca en la aplicación de técnicas de machine learning para el análisis y predicción de rechazos en procesos de manufactura. Mediante un conjunto de datos reales que registra las operaciones de centradores en un proceso de ensamblaje, se aplicaron algoritmos de regresión y clasificación. El objetivo es predecir la cantidad de unidades aceptadas y clasificar si la cantidad rechazada será alta o baja. Los resultados obtenidos sugieren que los modelos desarrollados tienen una alta capacidad predictiva, con un coeficiente de determinación (R^2) de 0.758 en la predicción y una precisión perfecta en la clasificación. Finalmente, se discuten posibles mejoras en los modelos para incrementar su robustez y generalización.

Palabras Claves: servicios de producción, industria 4.0; predicción, mantenimiento predictivo, patrones.

ABSTRACT

This study focuses on the application of machine learning techniques for the analysis and prediction of rejections in manufacturing processes. Using a real dataset that records the operations of wheel centering machines in an assembly process, regression and classification algorithms were applied. The goal is to predict the number of accepted units and classify whether the rejected quantity will be high or low. The results suggest that the developed models have a high predictive capacity, with a coefficient of determination (R^2) of 0.758 in the prediction and perfect accuracy in the classification. Finally, possible improvements to the models are discussed to enhance their robustness and generalization.

Keywords: production services, Industry 4.0; prediction, predictive maintenance, patterns.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La compañía en la que se basa este estudio es Bicicletas Peretti, una empresa radicada en la ciudad de Rafaela, Santa Fe, que se especializa en la fabricación y comercialización de bicicletas, con presencia en toda la región circundante, alcanzando localidades a todo el nivel nacional. A partir de finales del año 2021, la empresa comenzó a expandir su línea de productos, introduciendo bicicletas de alta gama con componentes avanzados. Sin embargo, hasta el momento, no se había profundizado en el análisis de las devoluciones y cancelaciones de pedidos, lo que ha impactado en los ingresos y en la cuota de mercado de la compañía en esa región. Con el fin de determinar las causas de estas cancelaciones y trabajar en estrategias preventivas, se decidió llevar a cabo un estudio enfocado en datos de producción con una disponibilidad de un volumen significativo de datos que permitiría obtener resultados representativos. Estos resultados servirán como base para comenzar a desarrollar soluciones orientadas a mitigar el problema identificado, mejorando la producción y fortaleciendo la capacidad de fabricación de Bicicletas Peretti en el mercado.

1.2 Objetivos.

El objetivo de este trabajo es establecer posibles políticas y estrategias de mejora en la producción de Bicicletas Peretti mediante la identificación de patrones y comportamientos en la forma de trabajo de fabricación de pedidos. Para ello, se utilizarán algoritmos de predicción que permitan predecir rechazos con el fin de implementar acciones preventivas que mejoren el nivel de productividad.

1.3 Metodología y herramientas.

La predicción de fallos y rechazos en los procesos industriales es clave para la mejora continua y la reducción de costos. En particular, el uso de técnicas de inteligencia artificial (IA) y machine learning (ML) ha ganado terreno en la optimización de procesos de manufactura. El objetivo principal de este estudio es aplicar estas técnicas para predecir la cantidad de productos aceptados en una operación de centrado de ruedas y clasificar si el número de rechazos será alto o bajo. El análisis de datos en este contexto puede ayudar a identificar patrones que los operadores humanos no detectan fácilmente. La implementación de algoritmos de predicción y clasificación permitirá una mejor planificación de los recursos, una reducción en el tiempo de operación y una mejora en la calidad del producto final.

Varios factores sugieren utilizar un enfoque de ciencia de datos para resolver este problema: debido a la gran cantidad de datos para procesar, si bien se tiene claro el objetivo del trabajo, no se identifican claramente patrones y relaciones entre los datos adquiridos que muestren información para la toma de decisiones rápidas y precisas. En todos los casos se requieren herramientas que puedan procesar grandes volúmenes de datos, variados y puedan realizar estadísticas y analíticas propias de la minería y el aprendizaje automático. La necesidad de adaptarse y utilizar nuevas tecnologías ha impulsado a la industria a evolucionar hacia una nueva era. Conceptos como conectividad, el creciente volumen de datos, nuevos dispositivos, reducción de inventarios, personalización y producción controlada han dado lugar a lo que conocemos como Industria 4.0. Este término fue acuñado para satisfacer las demandas de innovación y cambios anunciados en Alemania como parte de la "cuarta revolución industrial" (Lee et al., 2014).

En la industria de fabricación de bicicletas, la transición hacia la Industria 4.0 implica cambios significativos en varios niveles, componentes y piezas de bicicletas capaces de autocontrolarse y predecir su estado operativo (auto-conscientes y auto-predictivos), equipos de fabricación que no solo son auto-conscientes y auto-predictivos, sino que también pueden compararse entre sí para optimizar sus procesos y sistemas productivos capaces de configurarse, mantenerse y organizarse de manera autónoma, lo que permite una producción más eficiente y flexible. Una de las características clave de la Industria 4.0 es la personalización de productos, como las bicicletas hechas a medida, junto con la disponibilidad de datos que permiten la toma de decisiones por parte de personas o máquinas (Jin et al., 2017; Lee et al., 2014).

El mantenimiento ha adquirido una importancia crítica en la industria de las bicicletas debido al aumento en la complejidad de las interacciones entre las distintas actividades productivas dentro de ecosistemas de manufactura cada vez más extendidos (Sezer et al., 2018). En este contexto, otro concepto que añade valor al proceso de PdM es el Internet de las Cosas (IoT). Con su especialización denominada Internet Industrial de las Cosas (IIoT), el IoT en un entorno industrial incorpora aprendizaje automático (ML) y Big Data (BD). Estos métodos refuerzan la idea de que las máquinas inteligentes muestran una mayor eficiencia en comparación con los humanos en términos de precisión y consistencia en la gestión de datos (Sezer et al., 2018). En la fabricación de bicicletas, el IIoT puede utilizarse para monitorear en

tiempo real el rendimiento de las máquinas, optimizar los procesos de ensamblaje y prever cuándo será necesario realizar mantenimiento en las líneas de producción. Esto, a su vez, reduce el riesgo de paradas imprevistas y mejora la eficiencia general de la planta.

La integración de los conceptos mencionados, como el PdM, IoT e IIoT, sienta las bases para el desarrollo de sistemas de mantenimiento predictivo avanzados en la fabricación de bicicletas.

2. IMPLEMENTACIÓN

2.1 Pre-KDD o Entendimiento del negocio

Siendo que el objetivo de este trabajo ya ha sido determinado, se debe destacar que cuenta con el apoyo directo de la empresa de biclietas, via Nahuel Rocchia (autor de este trabajo) quién es referente del sector de Planificación de dicha empresa. Su rol será de proveer los datos para construcción del modelo, análisis de estos y acciones potenciales a tomar. Se considera que esta etapa de la metodología está ampliamente cubierta.

2.2 Selección

El dataset obtenido para la primer versión del modelo se compone de información sobre tiempos de operación de centradores para ruedas, con columnas que incluyen códigos, modelos, cantidades aceptadas, rechazadas, fechas, horas de inicio y fin, así como observaciones relacionadas con los centradores.

2.3 Pre-Proceso

Se destaca como pre proceso la necesidad de realizar un análisis exploratorio que muestra que hay un valor nulo en las columnas "CANTIDAD ACEPTADA" y "CANTIDAD RECHAZADA" por lo que se procedió a revisar registros y decidir cómo tratarlos para continuar con el análisis exploratorio. El registro con valores nulos en "CANTIDAD ACEPTADA" y "CANTIDAD RECHAZADA" corresponde a una fecha específica, pero sin información de las cantidades y se optó por eliminar esta fila ya que representaba menos del 1% de los datos.

2.4 Transformación

Los datos utilizados en este estudio provienen de las operaciones de centradores de ruedas en una planta de manufactura. Cada registro contiene información sobre el código y modelo del producto, la cantidad de unidades aceptadas y rechazadas, la duración de la operación y las observaciones sobre el centrador utilizado. El conjunto de datos fue procesado para detectar valores nulos y atípicos. Un registro con valores nulos en las columnas de cantidad aceptada y rechazada fue eliminado para asegurar la consistencia del análisis.

2.5 Machine Learning, modelo e interpretación

El machine learning es una rama de la inteligencia artificial que permite a las máquinas aprender de los datos sin ser programadas explícitamente. En la industria, el machine learning se ha implementado para optimizar procesos de manufactura, mejorar la calidad del producto y predecir fallos en el equipamiento. Las aplicaciones más comunes incluyen la predicción de demanda, mantenimiento predictivo y optimización de operaciones. Los algoritmos de regresión y clasificación como regresión lineal, es uno de los algoritmos más simples y efectivos para predecir una variable continua. En este modelo, se asume que existe una relación lineal entre la variable independiente (o características) y la variable dependiente (o resultado). La regresión lineal es útil para entender cómo varían las cantidades aceptadas en función de otros parámetros operacionales, por otro lado, un árbol de decisión es un algoritmo de clasificación que divide los datos en subconjuntos según las características más relevantes. Este método es sencillo de interpretar y permite clasificar de manera eficiente si una operación tendrá un alto o bajo número de rechazos, en función de parámetros como la duración y las cantidades aceptadas.

2.5.1 Análisis exploratorio visual y cuantitativo

Para la predicción de la cantidad aceptada, se aplicó un modelo de regresión lineal utilizando como características principales, cantidad rechazada, duración de la operación y centrador utilizado (codificado mediante one-hot encoding). El modelo fue entrenado y validado usando un conjunto de prueba (20% de los datos). Las métricas de evaluación incluyeron el error cuadrático medio (MSE) y el coeficiente de determinación (R^2).

La fila con valores nulos ha sido eliminada y los resultados estadísticos descriptivos muestran lo siguiente para las cantidades aceptadas y rechazadas, en primer lugar, de la cantidad aceptada el promedio es de 236.36 unidades, con un mínimo de 0 unidades y un máximo de 894 unidades, donde la desviación estándar es de 144.48 unidades y la mediana (percentil 50%) es de 235.5 unidades. Por otro lado, la cantidad rechazada tiene un promedio de 18.03 unidades, con un mínimo de 0 unidades y un máximo de 150 unidades, siendo la desviación estándar de 16.79 unidades y la mediana de 13 unidades.

En la figura 1, los diagramas de caja muestran la dispersión y posibles valores atípicos en las cantidades aceptadas y rechazadas, donde en la cantidad aceptada existe una variabilidad significativa con algunos valores altos que podrían considerarse atípicos, mientras que la mayoría de los datos se concentran alrededor de la mediana, y en la cantidad rechazada también se observa dispersión, pero es menos pronunciada que en las cantidades aceptadas. Los valores atípicos en este caso son aquellos por encima de 75 unidades. En la figura 2 se muestra visualmente el tiempo total de operación por centrador, medido en horas. Cada centrador tiene diferentes tiempos de operación acumulados, lo que puede ayudar a identificar cuáles han tenido mayor carga de trabajo. Este análisis puede ser útil para evaluar la eficiencia de los centradores o su desgaste.

2.5.2 Análisis de regresión y predictivo

En función del análisis realizado, se procederá a con la implementación de los algoritmos de predicción y clasificación. Se comenzará con la predicción de la cantidad aceptada usando un modelo de regresión como punto de partida, ya que es un modelo sencillo y eficiente para datos continuos. Este modelo intentará predecir la cantidad aceptada en función de variables como la cantidad rechazada, el tiempo de operación y el centrador asignado.

En este caso, el modelo de regresión lineal ha producido los siguientes resultados, donde el error cuadrático medio (MSE) es de 5526.66, indicando el promedio de las diferencias al cuadrado entre los valores predichos y los valores reales. Un valor más bajo es mejor, aunque este resultado no está mal para una primera aproximación. Y el coeficiente de determinación (R^2) es de 0.758, lo que significa que el modelo explica aproximadamente el 75.8% de la variabilidad en la cantidad aceptada, lo cual es un buen indicio de que el modelo está capturando una relación significativa entre las variables, tal como se puede observar en la figura 3.

Para la clasificación de la cantidad rechazada como alta o baja, se utilizó un árbol de decisión. La cantidad rechazada fue clasificada como alta o baja según si superaba o no la mediana del conjunto de datos. El modelo se entrenó con características similares a las usadas en la regresión y se evaluó usando una matriz de confusión, tal como se observa en la figura 4. El modelo de árbol de decisión mostró una precisión perfecta, con un precisión, recall y F1-score donde todos con un valor de 1.00 tanto para la clase baja como alta, y donde en la matriz de confusión todas las instancias fueron clasificadas correctamente. Estos resultados indican que el árbol de decisión es extremadamente efectivo para este conjunto de datos, logrando separar correctamente las operaciones con alta y baja cantidad de rechazos. En la figura 5 se puede observar el árbol obtenido, donde se visualizan los atributos a utilizar para lograr la clasificación correcta.

2.6 Post-KDD o Aceptación por el cliente

Este estudio es aceptado como prueba piloto válida para posterior análisis global de todas las localidades donde opera la empresa.

3. ECUACIONES, FIGURAS Y TABLAS

Tabla 1: Comparativa de metodologías para minería de datos

Semejanzas en las etapas de trabajo de las metodologías			
KDD	SEMMA	CRISP-DM	MS -TDSP
Pre-KDD (*)		Entendimiento del negocio	Conocimiento del negocio
Selección	Muestrear	Entendimiento de los datos	Conocimiento de los datos
Pre-proceso	Explorar		
Transformación	Modificar	Preparación de los datos	
Minado (modelo)	Modelar	Modelado	Modelado
Interpretación y evaluación	Evaluar	Evaluación	Despliegue e implementación
Post-KDD (**)		Implementación	
----	----	----	Aceptación por cliente

Adaptado de Azevedo & Santo, 2014. El agregado a la comparativa de MS-TDSP y (*) y (**) no se encuentra en el marco original publicado y es un agregado de los autores de este trabajo.

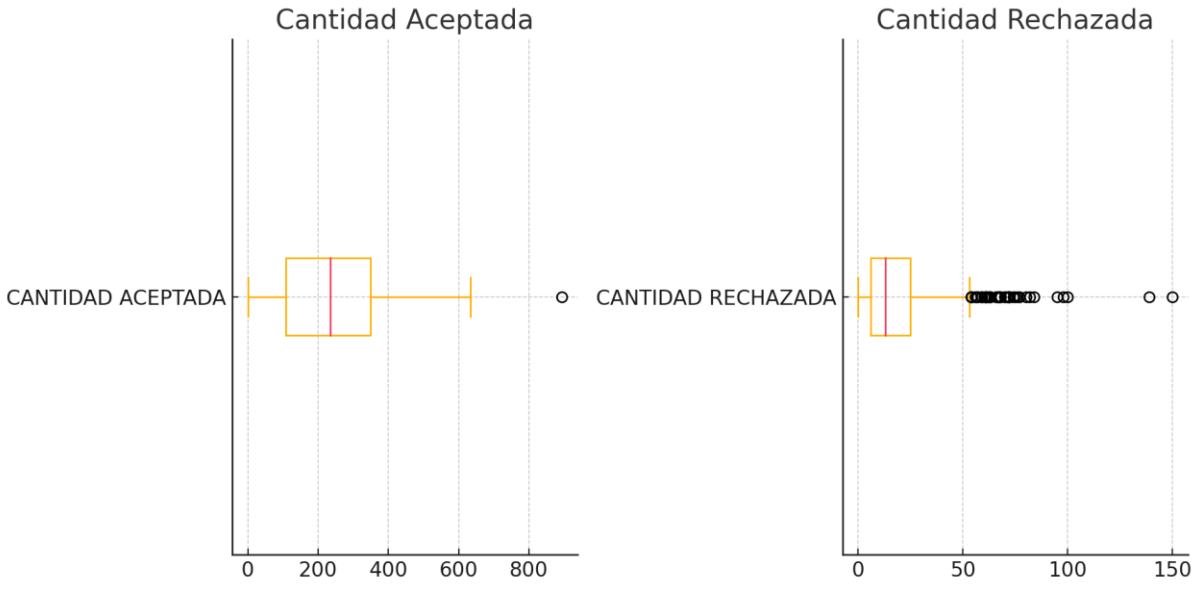


Figura 1: Distribución de cantidades aceptada y rechazada.

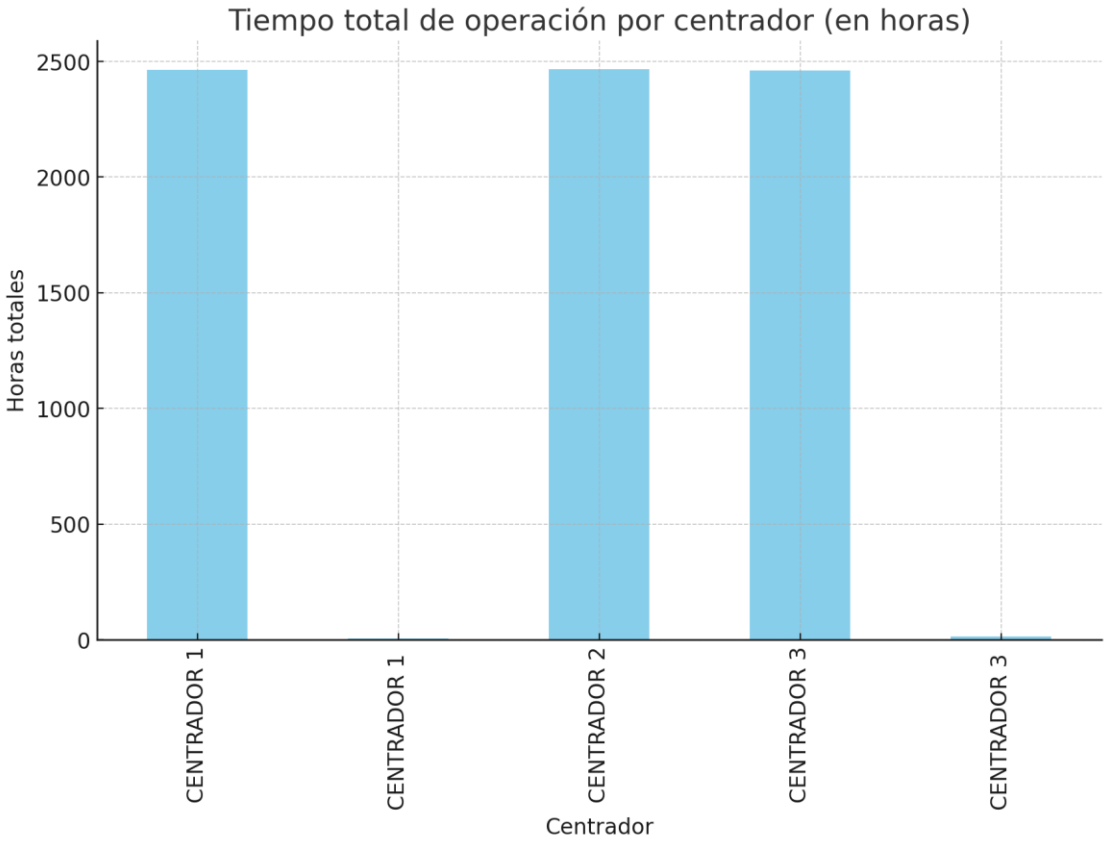


Figura 2: Tiempo total de operación por centrador (medido en horas).

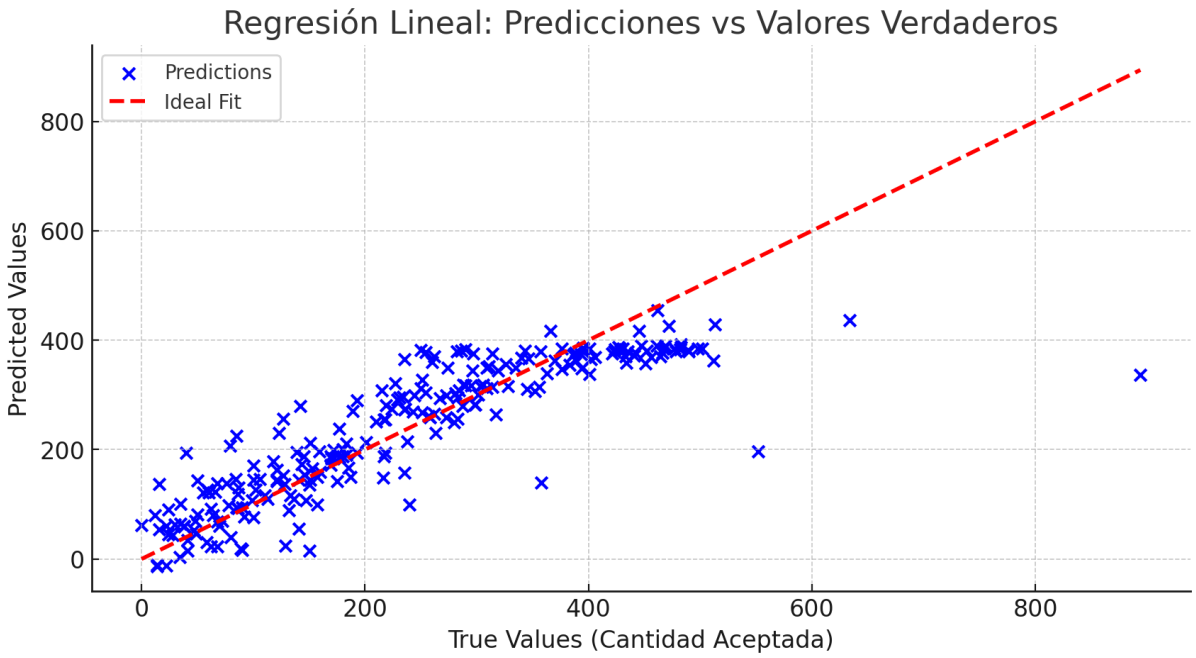


Figura 3: muestra las predicciones del modelo frente a los valores reales. La línea roja representa una predicción perfecta, y los puntos azules muestran las predicciones realizadas por el modelo.

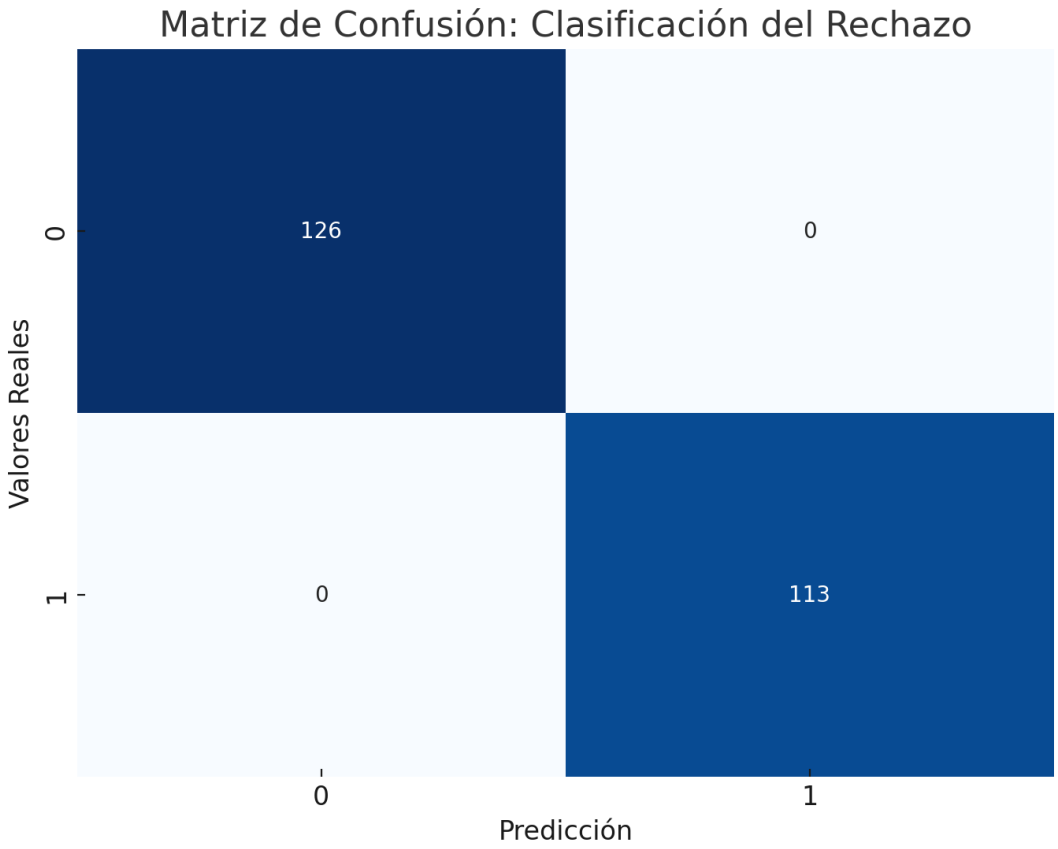


Figura 4: matriz de confusión sobre el rendimiento del modelo de clasificación, con una separación perfecta entre predicciones correctas y reales en ambos casos (rechazo bajo y rechazo alto).

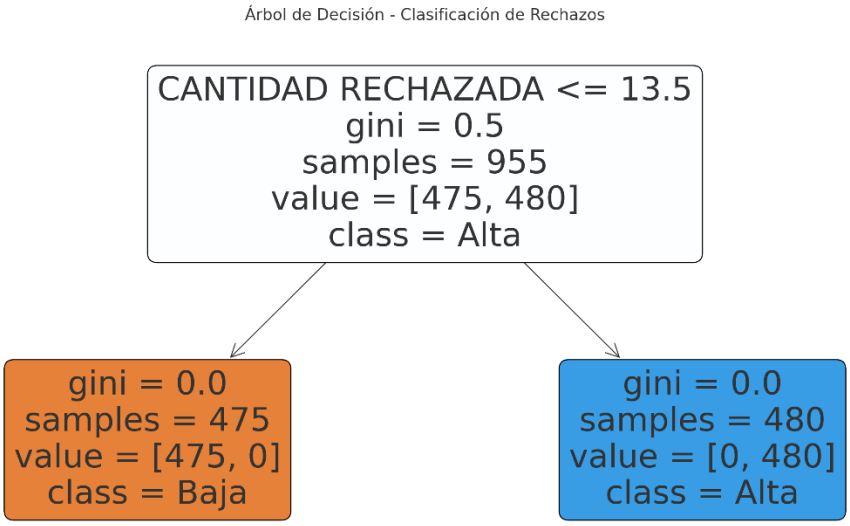


Figura 5: árbol de decisión que muestra cómo el modelo toma decisiones basadas en las características de las operaciones.

4. CONCLUSIONES

El análisis presentado demuestra la efectividad de los algoritmos de machine learning en la predicción y clasificación de rechazos en un entorno de manufactura, mientras que la regresión lineal mostró una capacidad predictiva aceptable (R^2 de 0.758), el árbol de decisión se destacó en la clasificación con una precisión del 100%. Sin embargo, existe margen para mejorar estos modelos. Algunas de las recomendaciones incluyen, el ajuste de los hiperparámetros del árbol de decisión para evitar sobreajuste, probar con algoritmos más avanzados como Random Forest o Gradient Boosting e incluir más características relacionadas con las operaciones o utilizar técnicas de reducción de dimensionalidad para mejorar la generalización del modelo.

El impacto de estos modelos en la industria puede ser significativo, ya que permiten a los operadores tomar decisiones más informadas y mejorar la eficiencia del proceso y donde implementar estas herramientas de machine learning a gran escala puede contribuir a una producción más eficiente y rentable. Por lo tanto, se puede determinar que el resultado obtenido es satisfactorio, y que se puede realizar un informe aún más detallado con la incorporación de más líneas de datos y análisis.

5. REFERENCIAS

Azevedo, A., & Santos, M. (2014). KDD, SEMMA AND CRISP-DM: A PARALLEL OVERVIEW. (págs. 182-185). Amsterdam: IADIS European Conference on Data Mining. https://www.researchgate.net/publication/220969845_KDD_semma_and_CRISP-DM_A_parallel_overview

Jin, W., Liu, Z., Shi, Z., Jin, C., & Lee, J. (2017). CPS-Enabled worry-free industrial applications. In 2017 Prognostics and system health management conference (pp. 1–7). Harbin, China: IEEE.

IBM. (19 de Enero de 2024). https://www.ibm.com/topics/confusion-matrix.

Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H.-A. (2014). Recent advances and trends of cyber-physical systems and big data analytics in industrial informatics. In 12th IEEE international conference on industrial informatics (pp. 1–6). Porto Alegre, Brazil: IEEE.

Sezer, E., Romero, D., Guedea, F., MacChi, M., & Emmanouilidis, C. (2018). An industry 4.0-enabled low cost predictive maintenance approach for SMEs. In 2018 IEEE International conference on engineering, technology and innovation (pp. 1–8). Stuttgart, Germany: IEEE.

"ANÁLISIS Y DISEÑO DEL DESARROLLO DE PROTOTIPOS PARA OBTENER MÉTRICAS DE CALIDAD REUTILIZABLES EN OTROS MODELOS"

Carrizo Blanca [1]; Abet Jorge [1]; Arcidiácono Marcelo [1]; Enamorado Sofía [1]

Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional [1]
GICCAP "Grupo de Investigación en Control Avanzado de Procesos y Producción
bcarrizo@frc.utn.edu.ar; jabet@frc.utn.edu.ar

RESUMEN

En la fase inicial del proyecto "Optimización de producción textil animal a partir de la aplicación de algoritmos de aprendizaje automático" se obtuvo un método automático de extracción de características biomecánicas para la clasificación de fibras textiles de origen animal y determinación de un valor de calidad. En la siguiente fase, se diseñó el prototipo de una aplicación que permite aplicar, de forma automática, métricas para la determinación de la calidad de la fibra textil de origen animal. en un contexto de sustentabilidad, donde es estratégico contar con métodos accesibles, económicos y amigables con el medio ambiente para reconocer y clasificar diversos tipos de fibras que permita optimizar el proceso productivo. El aporte fundamental de la propuesta en lo que hace a innovación tecnológica radica en el hecho de que los instrumentos automáticos actuales de análisis de fibras son costosos y presentan algunas dificultades en la medición de fibras entrecruzadas y/o fuera de foco. La detección y reconocimiento del tipo de fibras, sumado a la posibilidad de interacción con el proceso de medición permitiría alcanzar mayor exactitud y precisión. Se pretende validar los resultados obtenidos con la fibra animal en un entorno productivo y analizar la viabilidad de hacerla escalable a otro tipo de fibras, como las vegetales y sintéticas, en contextos donde esta herramienta estratégica de bajo costo permita aplicar las métricas de calidad para la toma de decisiones.

Palabras Claves: fibra textil animal, fibra vegetal, aplicaciones

ABSTRACT

In the initial phase of the project "Optimization of animal textile production through the application of machine learning algorithms" an automatic method for extracting biomechanical characteristics was obtained for the classification of textile fibers of animal origin and determination of a quality value. In the next phase, the prototype of an application was designed that allows the automatic application of metrics to determine the quality of textile fiber of animal origin. in a context of sustainability, where it is strategic to have accessible, economical and environmentally friendly methods to recognize and classify various types of fibers that allow optimizing the production process. The fundamental contribution of the proposal in terms of technological innovation lies in the fact that current automatic fiber analysis instruments are expensive and present some difficulties in measuring cross-linked and/or out-of-focus fibers. The detection and recognition of the type of fibers, added to the possibility of interaction with the measurement process, would allow greater accuracy and precision to be achieved. The aim is to validate the results obtained with animal fiber in a productive environment and analyze the viability of making it scalable to other types of fibers, such as vegetable and synthetic fibers, in contexts where this low-cost strategic tool allows applying quality metrics for the decision making.

Keywords: animal textile fiber, vegetable fiber, applications.

1. INTRODUCCIÓN

La industria textil ha evolucionado considerablemente en las últimas décadas, incorporando tanto fibras naturales como sintéticas en la producción de telas y productos textiles. Las fibras animales, como la lana de oveja o el pelo de llama son muy valoradas por sus propiedades únicas, como el confort, la durabilidad, y la capacidad de proporcionar calor [Cancio, 2016]. Sin embargo, uno de los desafíos más significativos en el uso de estas fibras es la variabilidad natural en sus características físicas, lo que puede complicar su clasificación y procesamiento eficiente a gran escala.

El desarrollo de un algoritmo que permita la clasificación automática y precisa de las fibras animales puede reducir significativamente los costos de producción, minimizar el desperdicio de material, y mejorar la consistencia en la calidad del producto final. Además, la aplicación de dicho algoritmo no solo se limita a la industria textil; sus principios pueden extenderse a otras áreas, como la clasificación faunística y la investigación forense, donde la identificación precisa de fibras o pelos es de gran importancia [Ford, 1954] [Houck, 2019] [Robertson, 2012].

2. DESARROLLO

La clasificación de fibras textiles animales ha sido tradicionalmente un proceso manual, basado en la observación visual y el tacto por parte de expertos en la materia. Estas técnicas, aunque efectivas, presentan limitaciones significativas, especialmente en términos de consistencia y escalabilidad. Con el avance de la tecnología, han surgido diversas herramientas y métodos que buscan automatizar este proceso, como el uso de sistemas de visión artificial.

Entre las técnicas tradicionales se pueden mencionar:

Clasificación Manual: Este método se basa en la experiencia del operario para diferenciar las fibras según su longitud, grosor, y textura. Es un proceso lento y subjetivo, lo que puede llevar a inconsistencias en la calidad del producto final.

Métodos Mecánicos: El uso de herramientas como peines y cardas ha permitido cierta estandarización en la preparación de fibras, pero aún depende del juicio humano para la clasificación final.

2.1 Avances tecnológicos

El uso de cámaras y software de análisis de imágenes ha permitido la automatización de la clasificación de fibras, especialmente en grandes volúmenes. Estos sistemas son capaces de medir parámetros como el grosor y la longitud de las fibras, pero aún enfrentan desafíos en la discriminación de diferentes tipos de fibras naturales.

A pesar de los avances mencionados, existen varias brechas en la tecnología actual que este proyecto busca abordar como la limitación en la clasificación de fibras naturales. La mayoría de los sistemas actuales están optimizados para fibras sintéticas o combinaciones de fibras, dejando a las fibras naturales, como las de llama, con una menor precisión en su clasificación.

Otro aspecto para considerar es la falta de algoritmos específicos para fibras animales ya que pocos están diseñados específicamente para la clasificación de fibras animales, lo que limita su efectividad en este campo [Allan Gómez-Flores, 2024].

Y por último es importante destacar el impacto en la sostenibilidad dado que la mayoría de los avances tecnológicos no han sido evaluados en términos de su impacto ambiental, lo que es crucial en la transición hacia una sociedad más consiente en cuanto al cuidado del medio ambiente

2.2 Metodología

El desarrollo del algoritmo para la clasificación de fibras textiles animales se basa en una combinación de técnicas de aprendizaje automático y procesamiento de imágenes. El algoritmo se diseñó para analizar características clave de las fibras, como su longitud, grosor, y textura, utilizando un conjunto de datos previamente etiquetados para entrenar el modelo.

El flujo de trabajo es ilustrado en la figura 1.

Las muestras de fibras textiles para el entrenamiento de la red neuronal fueron obtenidas en el laboratorio del SUPPRAD (Sustentabilidad Productiva para Pequeños Productores en Áreas Desfavorecidas) que funciona en la Facultad de Veterinaria de la Universidad Católica de Córdoba. Se trata de un conjunto de más de 500 imágenes obtenidas a partir de cortes longitudinales de fibra de camélidos andinos mediante la técnica usual de preparado y captura. Del total de esta colección, se descartaron aquellas imágenes que presentaron alguna inconsistencia de iluminación o foco.

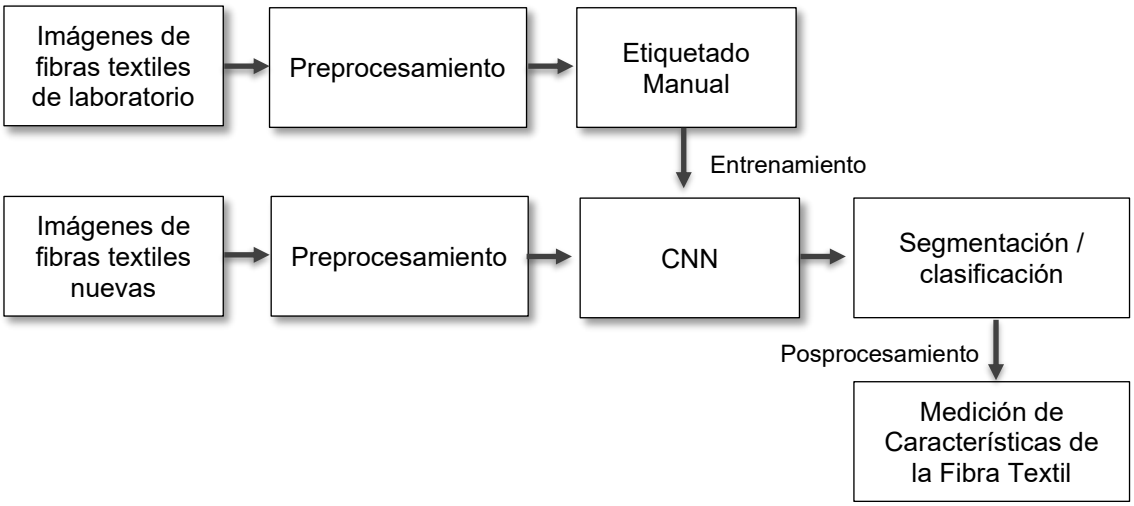


Figura 1. Flujo de trabajo adoptado en este desarrollo.

El conjunto de imágenes resultantes de 2600x1900 pixeles aproximadamente, fueron preprocesadas para el posterior entrenamiento de la red. El preprocesamiento de las imágenes incluyó una mejora de contraste, rectificación y un redimensionamiento a 900x600 pixeles.

El conjunto de datos se creó a partir de estos datos y se procedió al etiquetado manual para el entrenamiento de la red neuronal.

La red neuronal es una red basada en basado en la técnica de Memoria Temporal Jerárquica (HTM por sus siglas en inglés Hierarchical Temporal Memory) inspirada en la teoría de predicción del cerebro humano [Hawkins & Ahmad, 2011]. La Red HTM fue propuesta por Jeff Hawkins y modela algunas de las estructuras y propiedades algorítmicas del neocórtex. La Red HTM es un modelo biométrico basado en la teoría memoria-predicción de la función cerebral descripta por Hawkins y Blakeslee en [Hawkins & Blakeslee, 2004]. Se trata de un método para descubrir e inferir las causas de alto nivel de los patrones y secuencias de entrada observados, construyendo así un modelo cada vez más complejo de la realidad. Una Red HTM combina y se extiende a enfoques utilizados en redes bayesianas y algoritmos de agrupación espacial y temporal mediante el uso de una jerarquía en forma de árbol. La Red HTM se ha utilizado con éxito para el reconocimiento de objetos ya que el proceso de construcción de mapas de la realidad tiene características intrínsecamente similares a la de identificación de objetos.

Al tratar el problema de identificación de fibras como un problema de reconocimiento espacial, se propone resolverlo con una Red HTM, usando como base los mecanismos de la visión humana en la implementación de un algoritmo que permita pre procesar las imágenes de entrada. De esta forma, éstas se someten a un procesamiento basado en un modelo matemático que permite realzar las características visuales más sobresalientes, aquellas que la vista humana mayormente detecta.

Las HTM están inspiradas en las redes bayesianas, sin embargo, su principal característica es la de modelar la estructura algorítmica del neocórtex [Mittal, 2007]. Una Red HTM es un sistema organizado jerárquicamente, dividido en varios niveles compuestos de nodos computacionales adjuntos. Al ascender, el número de nodos disminuye siendo tan solo uno en el nivel superior. El número de nodos en el nivel k es $22n-k$, donde n es el número total de niveles en la red. El nivel más bajo corresponde a las imágenes que se presentan a la Red. Las imágenes de entrada se dividen a su vez en cuadros

de m x m pixeles haciendo corresponder cada cuadro de la imagen de entrada a un nodo del primer nivel, así, los nodos del primer nivel reciben entradas de áreas específicas llamadas campos receptivos. El flujo de inferencia de uno a otro nodo, sigue una trayectoria ascendente. Los nodos en niveles inferiores pueden encontrar causas pertenecientes a una escala de tiempo y entrada limitada, mientras que los de niveles superiores encuentran causas que pertenecen a una escala de tiempo y entrada más amplia. Independientemente del nivel al que pertenecen, cada nodo sigue el procedimiento algorítmico descripto en [George & Jaros, 2007] dividido en dos módulos diferentes: el módulo espacial y el módulo temporal y realiza dos operaciones distintas: la primera, entrenamiento, incluye procesamiento temporal y espacial; la segunda, inferencia, produce las salidas que alimentan los nodos en los niveles superiores.

El conjunto de datos se separó en un conjunto de entrenamiento y prueba 80/20. Una vez entrenada, se alimentó a la red con imágenes nuevas para su segmentación/clasificación como puede verse en la figura 2.

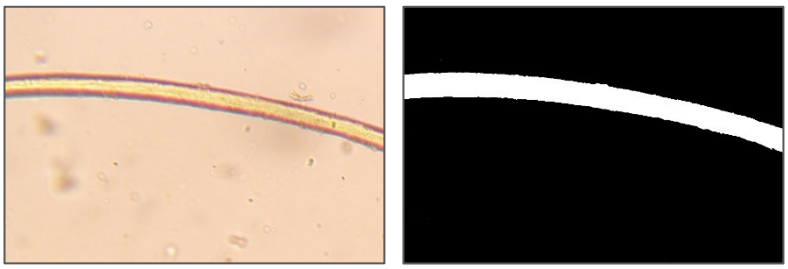


Figura 2. Resultado de la clasificación/segmentación de una fibra no medulada de llama

Una vez obtenido el resultado de la red, se procedió al posprocesamiento de la imagen para obtener medidas de calidad e la fibra, diámetro medio, ancho de médula y curvatura mediante algoritmos geométricos estándares.

2.3 Ventajas

El análisis comparativo entre el algoritmo propuesto y los métodos tradicionales antes mencionados incluye tanto métricas de desempeño como un análisis cualitativo de las diferencias en los resultados. Se espera que el algoritmo no solo ofrezca una clasificación más rápida y consistente, sino que también permita la identificación de características más sutiles que puedan pasarse por alto en un análisis manual.

2.4 Resultado esperados

El desarrollo y la implementación del algoritmo propuesto busca generar varios resultados significativos en la clasificación de fibras textiles animales. Estos resultados no solo serán cuantitativos, sino que también responderán a preguntas fundamentales sobre la importancia y las ventajas de esta clasificación.

Un aspecto clave es la medición del impacto ambiental del algoritmo. Se analizará el consumo de recursos durante su implementación, y se comparará con el impacto de los métodos tradicionales de clasificación.

2.5 Aplicabilidad

El algoritmo es capaz de clasificar las fibras de manera más rápida y precisa que los métodos tradicionales, reduciendo la variabilidad en el producto final y mejorando la eficiencia del proceso de producción. La clasificación precisa permite maximizar el aprovechamiento de las fibras de mayor calidad, lo que resulta en productos textiles más uniformes y de mayor valor en el mercado. Además, reduce el desperdicio de material, contribuyendo a la sostenibilidad

La versatilidad del algoritmo permite su uso más allá de la industria textil, incluyendo la identificación de especies animales mediante la clasificación de pelos o la diferenciación de fibras en investigaciones forenses. Esto amplía el impacto y la utilidad del proyecto.

Una posible aplicación podría ser para clasificar y diferenciar entre especies animales basándose en la estructura de sus fibras o pelos, lo que podría ser útil en estudios de biodiversidad y conservación.

Otra alternativa, podría ser en el ámbito forense al ayudar a identificar y comparar pelos humanos y animales encontrados en escenas de crimen, mejorando la precisión de las investigaciones.

El algoritmo podría ser ajustado para clasificar fibras vegetales, lo cual sería especialmente útil en un contexto de creciente interés por productos sostenibles y naturales. Esta adaptación podría ayudar a las industrias a transicional desde fibras sintéticas hacia alternativas más ecológicas.

3. CONCLUSIONES

El proyecto ha demostrado la importancia de integrar tecnologías avanzadas en la clasificación de fibras textiles, con un enfoque especial en la sostenibilidad y la eficiencia productiva. A lo largo del desarrollo se han abordado las principales limitaciones de los métodos tradicionales de clasificación, ofreciendo una solución innovadora que no solo mejora la precisión y la consistencia, sino que también tiene un impacto positivo en el medioambiente y la industria en general.

El proyecto ha dejado claro que el algoritmo tiene un gran potencial para ser aplicado más allá de las fibras de llama, extendiéndose a otros tipos de fibras animales y vegetales. La herramienta no se limita a una aplicación específica, sino que ofrece una solución adaptable a diferentes materiales y contextos. Además, las posibles aplicaciones en clasificación faunística e investigación forense destacan el impacto más amplio de esta tecnología, abriendo nuevas oportunidades de uso en áreas como la biología y la criminología.

En resumen, este proyecto no solo ha cumplido con sus objetivos iniciales, sino que también ha abierto nuevas posibilidades para la investigación y la innovación en la industria textil. El desarrollo del algoritmo ha demostrado cómo la tecnología puede mejorar procesos tradicionales, haciendo que sean más eficientes y sostenibles. De cara al futuro, se espera que este trabajo sirva de base para nuevas investigaciones que exploren otras aplicaciones del algoritmo, así como mejoras adicionales en su rendimiento y adaptabilidad a diferentes tipos de fibras.

Con el éxito obtenido en este proyecto, se sientan las bases para una transformación significativa en la clasificación de fibras textiles, lo que podría llevar a un cambio de paradigma en la industria, beneficiando no solo a los productores, sino también a los consumidores y al medioambiente.

4. REFERENCIAS.

Allan Gomez-Flores, Hyunjae Cho, Gilsang Hong, Hyojeong Nam, Hyunjung Kim, Yongsik Chung. (2024). A critical review on machine learning applications in fiber composites and nanocomposites: Towards a control loop in the chain of processes in industries, Materials & Design. Science Direct, 245. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2024.113247

Cancio, A., Rebuffi, G., Mueller, J., Duga L. y Rigalt, F. (2016). Parámetros cualitativos de la producción de fibras de llamas (Lama Gama) machos en la puna argentina. INTA EEA, Bariloche, INTA AER Trancas, INTA EEA Catamarca, Comunicación Técnica, PA 492.

Ford, J. y Roff, W., (1954). Identification of Textile and Related Fibres. J. Textile Inst., 45: 580-611

George, D. y Jaros, B. (2007). The htm learning algorithms. Whitepaper, Numenta Inc.

Hawkins, J. y Blakeslee, S. (2004). On intelligence. 1st ed. New York: Times Books.

Hawkins, J., Ahmad, S. y Dubinsky, D. (2011). Hierarchical Temporal Memory including HTM Cortical Learning Algorithms. Numenta Inc. White paper.

Houck, M. M. (2019). "Fiber evidence: what can it tell us and what can't it?" Forensic Science International.

Mittal, A., Pagalthivarthi, K. (2007). Temporal bayesian network based contextual framework for structured information mining. Pattern Recognition Lett. 28, 1873–1884.

Robertson, J., & Grieve, M. (2012). Forensic Examination of Fibres. CRC Press.

"Innovación inclusiva: Principios de diseño universal aplicados al proceso de diseño y desarrollo de juguetes infantiles"

Meretta Javier*, García Tomás, Murciano Tobías

Facultad Regional San Nicolás, Universidad Tecnológica Nacional
Grupo de investigación en tecnología de las organizaciones GITO.
Colon 332, 2900 San Nicolás
jmeretta@frsn.utn.edu.ar

RESUMEN

El presente artículo ofrece una revisión de la literatura centrada en el diseño universal y su aplicación en el diseño y desarrollo de productos, con un enfoque especial en los juguetes infantiles. El diseño universal, también conocido como diseño inclusivo, se refiere a la creación de productos y entornos accesibles para el mayor número posible de personas, independientemente de sus capacidades o discapacidades. Este enfoque busca eliminar las barreras físicas, cognitivas y sensoriales, promoviendo la inclusión y la integración en el uso de productos cotidianos. En los juguetes infantiles, el diseño universal adquiere una importancia particular al considerar la diversidad de habilidades y necesidades de los niños. Se examinan artículos de estudios de caso y ejemplos prácticos que demuestran cómo la implementación de estos principios puede resultar en juguetes más inclusivos y beneficiosos para el aprendizaje y el juego, destacando cómo los principios del diseño universal, tales como la equidad en el uso, la flexibilidad y la simplicidad, pueden aplicarse para crear juguetes que no solo sean accesibles, sino que también fomenten el desarrollo cognitivo, emocional y social de todos los niños. El artículo subraya la relevancia de integrar el diseño universal en la industria del juguete como una estrategia para promover la inclusión desde la infancia.

Palabras claves: Diseño de producto, Diseño Universal, inclusión, juguetes, infancia.

ABSTRACT

This paper offers a literature review focused on universal design and its application in product design and development, with a special focus on children's toys. Universal design, also known as inclusive design, refers to creating products and environments that are accessible to as many people as possible, regardless of their abilities or disabilities. This approach seeks to eliminate physical, cognitive and sensory barriers, promoting inclusion and integration in the use of everyday products. In children's toys, universal design takes on particular importance when considering the diversity of children's abilities and needs. Case study articles and practical examples are examined that demonstrate how implementing these principles can result in toys that are more inclusive and beneficial for learning and play, highlighting how universal design principles such as equity in use, Flexibility and simplicity can be applied to create toys that are not only accessible, but also foster the cognitive, emotional and social development of all children. In conclusion, the article highlights the relevance of integrating universal design in the toy industry as a strategy to promote inclusion from childhood.

Keywords: Product Design, Universal Design, Inclusion, Toys, Childhood.

1. INTRODUCCIÓN

El Diseño Universal (DU) es un enfoque que busca crear productos, entornos y servicios que sean accesibles y utilizables por el mayor número posible de personas, independientemente de sus capacidades físicas, sensoriales o cognitivas. Esta metodología, concebida originalmente en el ámbito de la arquitectura y el diseño de productos, se ha extendido a diversas disciplinas con el objetivo de promover la inclusión y la equidad en el acceso a bienes y servicios. En un contexto social que valora cada vez más la diversidad y la igualdad de oportunidades, el DU se presenta como un paradigma esencial para el diseño de productos orientados a la infancia, especialmente en el ámbito de los juguetes.

Los juguetes juegan un papel fundamental en el desarrollo cognitivo, emocional y social de los niños. A través del juego, los niños no solo adquieren habilidades motrices y sensoriales, sino que también desarrollan la capacidad de interactuar con el entorno y con otras personas. Sin embargo, muchos de los juguetes disponibles en el mercado están diseñados sin considerar las diversas necesidades de los niños con discapacidades. Esto excluye a un sector considerable de la población infantil, que se ve privado de los beneficios del juego por barreras de accesibilidad. En este sentido, el DU ofrece una solución al proponer juguetes que, desde su concepción, son aptos para todos los niños, incluidos aquellos con discapacidades visuales o auditivas.

El diseño de juguetes accesibles no solo mejora la experiencia de juego de los niños con discapacidades, sino que también beneficia a toda la población infantil al proporcionar productos más intuitivos, seguros y versátiles. Para lograr este objetivo, es necesario que los diseñadores de juguetes comprendan y apliquen los principios fundamentales del DU, adaptándolos a las necesidades específicas de los niños ciegos y sordos. Este artículo explora los fundamentos teóricos del DU y su aplicación práctica en el diseño de juguetes inclusivos, ofreciendo una visión detallada sobre cómo estos principios pueden transformar el proceso de creación de juguetes, garantizando que todos los niños tengan acceso a una experiencia de juego equitativa.

En particular, se abordarán las consideraciones específicas para el diseño de juguetes dirigidos a niños ciegos y sordos, describiendo cómo la estimulación sensorial, la ergonomía y el uso de la tecnología pueden contribuir a la creación de productos que promuevan el desarrollo integral de estos niños. Asimismo, se expondrán casos prácticos y ejemplos de juguetes que han sido diseñados bajo los principios del DU, proporcionando una guía para diseñadores interesados en desarrollar productos verdaderamente inclusivos.

2. DESARROLLO

El DU es un enfoque concebido en la década de 1990 por el arquitecto y diseñador Ron Mace que tiene como objetivo principal la creación de productos, entornos y servicios que son accesibles para la mayor cantidad de personas posible, independientemente de sus habilidades o discapacidades, sin necesidad de modificaciones o adaptaciones posteriores (Mace, 1997). El DU fue desarrollado como una respuesta a la necesidad de incluir a personas con discapacidades en la vida cotidiana, sin requerir adaptaciones especiales o costosas modificaciones adicionales. Este enfoque, ampliamente utilizado en la arquitectura y el diseño de productos, fomenta la inclusión social y la equidad, va más allá de la mera accesibilidad, ya que busca ofrecer soluciones integrales que sean beneficiosas para toda la población.

Inclusión e integración, aunque a menudo se emplean como sinónimos, tienen significados distintos en el contexto del DU. La inclusión se centra en la creación de entornos, productos y servicios que garanticen la participación plena y equitativa de todas las personas, especialmente aquellas tradicionalmente excluidas debido a barreras físicas, sociales o económicas. En diseño, esto se refleja en productos accesibles y usables por la mayor cantidad de personas. Por su parte, la integración busca incorporar a personas con discapacidad en la sociedad sin apartarlas en espacios exclusivos, diseñando soluciones que puedan ser usadas conjuntamente por todos, sin necesidad de alternativas separadas.

El principio central del DU es la inclusividad, lo que significa que los productos diseñados bajo este paradigma deben ser útiles para la mayor cantidad de personas posible. Esto incluye a personas con discapacidades físicas, sensoriales, cognitivas y, en general, a usuarios de todas las edades, condiciones socioeconómicas y niveles de habilidad. El DU fomenta la creación de soluciones que no solo minimicen las barreras de uso, sino que también promuevan una experiencia de usuario mejorada para todos. En lugar de desarrollar productos especializados para personas con discapacidades, el DU aboga por un diseño único que integre de manera inclusiva a toda la población desde el principio. Esto significa que, a diferencia de enfoques tradicionales que tienden a tratar la accesibilidad como un elemento adicional que se incorpora al final del proceso de diseño, el DU coloca la inclusión como el eje central desde la fase inicial de concepción del producto. Esto permite que los diseños sean más eficientes, económicos y efectivos, ya que se evita la necesidad de crear adaptaciones posteriores.

Bajo estas premisas el Consorcio de Diseño Universal (Center for Universal Design, 1997) propuso siete principios que guían este enfoque, y que se han convertido en la base para la aplicación del DU en diversos campos como la arquitectura, el diseño industrial, la educación, y más recientemente, el diseño de juguetes infantiles.

2.1. Principios del Diseño Universal

Los siete principios del DU proporcionan un marco teórico para garantizar que los productos sean accesibles, inclusivos y fáciles de usar por todas las personas. A continuación, se describen cada uno de estos principios, destacando su importancia en el diseño de juguetes infantiles:

Uso Equitativo: Este principio garantiza que el diseño sea útil y accesible para personas con diversas capacidades. En el contexto de los juguetes, esto significa que todos los niños, independientemente de sus habilidades físicas o sensoriales, puedan interactuar con el juguete de manera equitativa. Por ejemplo, un juguete diseñado con este principio evitaría la necesidad de crear versiones alternativas para niños con discapacidades visuales o auditivas.

Flexibilidad en el Uso: El diseño debe ser adaptable a una amplia gama de preferencias y habilidades individuales. Los juguetes que cumplen con este principio permiten diferentes formas de interacción, facilitando tanto el uso por niños con diferentes capacidades motrices como la posibilidad de que jueguen de distintas maneras. Un ejemplo sería un juguete que pueda ser manipulado tanto por medio de botones físicos como comandos táctiles.

Uso Simple e Intuitivo: Este principio se refiere a la facilidad con la que los usuarios pueden comprender el funcionamiento del producto. En el caso de los juguetes, un diseño intuitivo permite que los niños puedan usarlos sin necesidad de instrucciones complejas, facilitando el juego autónomo incluso para aquellos con discapacidades cognitivas o sensoriales. Un juguete que proporcione retroalimentación inmediata y clara (mediante luces, sonidos o vibraciones) es un buen ejemplo de este principio.

Información Perceptible: Los juguetes deben ser capaces de comunicar la información necesaria de manera efectiva, independientemente de las capacidades sensoriales del usuario. Esto implica utilizar múltiples canales sensoriales para transmitir la información, como sonidos, luces o señales táctiles, garantizando que los niños con discapacidades visuales o auditivas puedan interactuar con el juguete de manera adecuada.

Tolerancia al Error: El diseño debe minimizar los riesgos y las consecuencias adversas derivadas de acciones accidentales. En el caso de los juguetes, esto significa que deben ser seguros y permitir que los niños cometan errores sin que ello interfiera en la experiencia de juego. Un juguete que tenga piezas de gran tamaño y sin bordes afilados, o que no se dañe fácilmente si se cae o es manipulado incorrectamente, sería un ejemplo de este principio.

Bajo Esfuerzo Físico: Los productos deben ser diseñados de manera que se puedan utilizar con el menor esfuerzo físico posible. Los juguetes que requieren poca fuerza para ser manipulados o que tienen piezas livianas permiten que niños con discapacidades motrices o debilidad física puedan disfrutar de ellos sin dificultad. Juguetes ligeros y fáciles de sujetar ejemplifican este principio.

Tamaño y Espacio para el Acceso y el Uso: El diseño debe considerar tamaños y proporciones adecuados para un acceso fácil y cómodo. En los juguetes, esto implica que las piezas sean accesibles para niños con diferentes niveles de habilidad y que el espacio para interactuar con el juguete sea suficiente para una variedad de posturas y movimientos. Juguetes que pueden ser jugados tanto en el

suelo como sobre una mesa, o que pueden manipularse con una sola mano, son un buen ejemplo de este principio.

2.2. El juego en la infancia

El juego es una actividad fundamental en la vida de niños y niñas, ya que les brinda la oportunidad de aprender, experimentar y desarrollar diversas habilidades, tanto físicas como cognitivas, sociales y emocionales. Aunque la búsqueda del placer ha sido y sigue siendo un impulso fundamental en la actividad humana, limitar el juego únicamente a ese propósito puede generar una visión reducida y distorsionada de su verdadero papel en el desarrollo y aprendizaje de las personas (Martín et al., 2015).

Diversos estudios han comprobado que el juego desempeña un papel crucial en el fortalecimiento de funciones como el lenguaje, las habilidades ejecutivas, la comprensión espacial y las relaciones interpersonales, además de promover un desarrollo físico saludable. A través del juego, los niños exploran su entorno, interactúan con otros, resuelven desafíos y expresan sus emociones, todo ello mientras aprenden de manera lúdica y estimulante, lo que potencia su motivación y compromiso.

A su vez, el juego es un derecho esencial de la infancia, reconocido tanto a nivel nacional como internacional. Este derecho fue proclamado por la Asamblea General de las Naciones Unidas en 1959 y reafirmado en la Convención sobre los Derechos del Niño en 1989. En el contexto de la diversidad funcional, la Convención de las Naciones Unidas sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad, ratificada por Argentina en 2008, incluye principios como la igualdad, la no discriminación, la accesibilidad y la educación inclusiva, así como el derecho a participar en actividades culturales, recreativas y deportivas. Este marco legal destaca la importancia de abordar la diversidad funcional desde un enfoque integral, basado en un modelo social que reconozca el valor del ocio, la cultura y el deporte para lograr una participación plena en la sociedad.

No obstante, existen varios desafíos en este ámbito, como la limitada oferta de juguetes accesibles, la falta de catálogos que reflejen la diversidad y la ausencia de servicios de asesoramiento para familias de niños con diversidad funcional. En este sentido, el presente trabajo se enfoca en el diseño universal aplicado a juguetes que puedan ser utilizados por personas con discapacidad auditiva o visual y teniendo presente la recomendación de la Sociedad Argentina de Pediatría: los mejores juguetes son los que consideran el derecho de niñas y niños de desplegar al máximo todas sus capacidades, respetando sus tiempos, limitaciones y procesos (SAP, s/f).

2.3. El Diseño Universal aplicado a juguetes

Aplicar los principios del Diseño Universal a los juguetes infantiles implica crear productos que no solo sean seguros, sino que también ofrezcan oportunidades para el desarrollo cognitivo y emocional de todos los niños, incluidos aquellos con discapacidades. Los juguetes diseñados bajo el DU deben ser comprensibles, manipulables y atractivos, permitiendo que los niños se beneficien de una experiencia integradora de juego. Es fundamental contar con recursos de juego accesibles para niños y niñas con discapacidad, que les brinden la oportunidad de disfrutar plenamente de su tiempo de ocio. Estos recursos deben permitirles compartir momentos y juguetes con otros niños, ya sea que tengan o no discapacidad, fomentando la inclusión y la igualdad en el juego (Zaragoza Martín et al., 2015).

En Argentina, entre el 2019 y 2020 se realizó por segunda vez la Encuesta Nacional de Niños, Niñas y Adolescentes (MICS por sus siglas en inglés), donde la incidencia de la discapacidad en la primera infancia (de 2 a 4 años) es del 4%, y entre la población de mayor edad (5 a 17 años) es del 14% (Canaviri y Beccaria, 2021). Este informe pone en evidencia que las niñas, niños y adolescentes con discapacidad, en mayor medida, residen en hogares con mayores niveles de vulnerabilidad lo que podría estar relacionado con una menor disponibilidad de recursos para la detección y atención temprana, dificultades para acceder y mantener tratamientos, problemas nutricionales, y la necesidad de cuidados prolongados, entre otros factores.

Para conocer la prevalencia y estructura por sexo y edad de la población con dificultad se ha consultado el Estudio Nacional sobre el Perfil de las Personas con Discapacidad (INDEC, 2018). En consonancia con las recomendaciones internacionales en materia de medición de discapacidad en los niños, este estudio presenta información para la población con dificultad de 6 años y más. Se ha centrado el análisis en niños y niñas con dificultad para ver y para oír con los siguientes resultados:

De la población con dificultad de 6 años y más, que representa el 10,2% del total de la población de 6 años y más, el 25,0% tiene dificultad visual. Al evaluar el grado de severidad de la dificultad de esta población, el 96,4% manifiesta tener mucha dificultad y el 3,6% restante indica no poder ver (Figura 1).

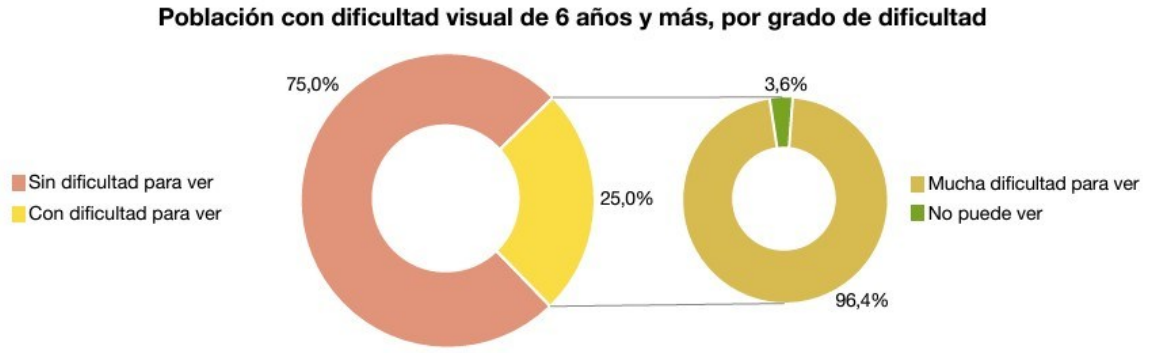


Figura 1. Población con dificultad visual de 6 años y más, por grado de dificultad. Fuente: INDEC, (2018).

Respecto del total de la población con dificultad de 6 años y más, el 20,8% indica tener dificultad auditiva. En este caso, la distribución por grado de severidad de la dificultad auditiva muestra que el 49,0% no puede oír o usa audífono o implante coclear y el 51,0% tiene mucha dificultad para oír (Figura 2).

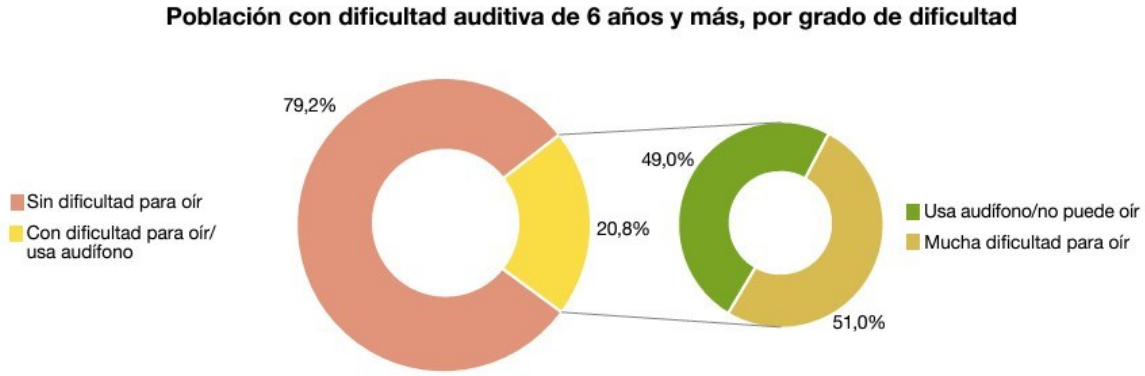


Figura 2. Población con dificultad auditiva de 6 años y más, por grado de dificultad. Fuente: INDEC, (2018).

El presente trabajo está centrado en niños y niñas con discapacidad visual, es decir, con problemas visuales, englobando tanto los que tengan algún resto visual como los ciegos totales; y en niños y niñas con discapacidad auditiva englobando tanto los que tengan algún resto auditivo como los sordos totales.

El diseño de juguetes para niños ciegos debe enfocarse en la estimulación táctil y auditiva. Los juguetes con texturas variadas, formas reconocibles y sonidos específicos permiten que los niños desarrollen habilidades sensoriales y cognitivas a través del juego. Para los niños sordos, la estimulación visual y la retroalimentación táctil son esenciales en el diseño de juguetes. Colores vivos, contrastes marcados y el uso de luces interactivas ayudan a los niños a reconocer y participar en actividades lúdicas. La integración de vibración como respuesta a interacciones también permite que los niños sordos reciban información sensorial sin depender del sonido. En ambos casos la ergonomía también juega un papel crucial, asegurando que el juguete sea fácil de manipular sin requerir un esfuerzo físico excesivo.

En este contexto se debe tener en cuenta que los niños y niñas con discapacidad auditiva pueden acceder a mayor cantidad de juguetes, por otro lado, los niños y niñas ciegos o con problemas visuales son los que disponen de menos juguetes accesibles.

La falta de visión en los niños ciegos puede reducir su motivación para moverse y explorar objetos, haciendo más pasivos. Mientras que la visión ofrece una percepción global del entorno, los demás sentidos perciben la realidad de forma fragmentada y necesitan tiempo para integrarse. Por ello, los niños con discapacidad visual requieren la intervención de los adultos para desarrollar estas estructuras a su propio ritmo (Costa, M et al., 2007). Para estimular su juego, es clave que los padres los motiven

a explorar los juguetes, explicándoles dónde están, cómo son y cómo usarlos. Los autores del informe, sugieren que los juguetes para niños con discapacidad visual deben tener un diseño sencillo y realista, que sea fácil de identificar al tacto. Es importante que incluyan objetos o complementos manipulables, incorporando efectos sonoros y diversas texturas para estimular otros sentidos. Además, deben evitarse piezas pequeñas o, en su defecto, asegurar que puedan clasificarse fácilmente al tacto. Los colores deben ser vivos y contrastados para aquellos niños con algún resto visual. Finalmente, es crucial que los juguetes sean compactos y no se desmonten fácilmente, garantizando su durabilidad y facilidad de uso.

En referencia a los niños sordos o con deficiencia auditiva, el informe (Costa, M et al., 2007), expresa que tienen una manera distinta de estructurar la realidad, lo que influye en el desarrollo del juego y el lenguaje. Su nivel de coordinación y organización en el juego suele ser menos maduro que el de los niños oyentes de la misma edad. La diferencia más notable en su forma de juego radica en la menor habilidad para ejecutar secuencias de juego previamente planificadas, lo que afecta la fluidez y complejidad. Se destaca además que, los niños sordos suelen tener mayores dificultades para sustituir objetos, por ejemplo, el hacer que una cuchara sea un avión. Luego sugieren que los juguetes con sonido deben contar con control de volumen y salida opcional para auriculares, facilitando su acceso a niños con restos auditivos funcionales. Además, los efectos sonoros deben estar acompañados de otros estímulos perceptibles, como luces, imágenes o vibraciones, para mejorar la experiencia de juego. Es importante consultar a un especialista que pueda orientarle en la selección del juguete, teniendo en cuenta el tipo de audífono que usa cada niño, para evitar posibles acoplamientos o interferencias.

3. CONCLUSIONES

El Diseño Universal representa una oportunidad invaluable para crear juguetes inclusivos que beneficien a todos los niños, independientemente de sus capacidades. Al aplicar los principios del DU, los diseñadores pueden asegurar que los juguetes sean accesibles, seguros y atractivos, fomentando una experiencia de juego equitativa que promueve el desarrollo integral de cada niño. La intervención de los adultos y el desarrollo de productos adecuados son esenciales para que estos niños puedan explorar, aprender y divertirse en un entorno que respeta sus necesidades y les brinda oportunidades de crecimiento y participación.

Se debe tener presente que los niños y niñas con discapacidad también necesitan jugar y tener acceso a una variedad de tipos y recursos de juego. Padres, educadores y expertos han señalado la creciente demanda de juguetes accesibles que permitan a estos niños disfrutar de su tiempo de ocio, compartir actividades y juguetes con otros niños, ya sea con o sin discapacidad. Además, las empresas de juguetes están comprometidas con la innovación y el desarrollo de productos de mayor calidad, cada vez más adaptados a las necesidades de todos los usuarios, contribuyendo a una mayor inclusión en el juego.

Para finalizar, este artículo es de carácter exploratorio y reconoce que aún queda mucho trabajo por delante en Argentina. Es necesario profundizar en las distintas etapas de aprendizaje, las edades y las dificultades que enfrentan los niños y niñas con discapacidad al acceder a recursos de juego. Además, también queda pendiente el análisis del juego en adultos y adultos mayores, un aspecto fundamental para comprender mejor las necesidades de estos grupos y garantizar su inclusión en las actividades lúdicas. Este es solo el comienzo de un esfuerzo más amplio por fomentar el acceso equitativo al juego en todas las edades.

4. REFERENCIAS

Canaviri, A., Beccaria, A. (2021) “Condiciones de vida de las niñas, niños y adolescentes con discapacidad” Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF).

Costa, M.; Romero, M.; Mallebrera, C.; Fabregat, M.; Torres, E.; Martínez, MJ.; Torres, S.; Martínez, P.; Martínez, Y. y Zaragoza, R. (2007) “Juego, juguetes y discapacidad: La importancia del diseño universal” AIJU. Ibi (Alicante) ISBN: 978-84-922605-6-0

S. A. P. Sociedad Argentina de Pediatría. (s/f) “Jugar en casa en tiempos de aislamiento”. https://www.sap.org.ar/uploads/archivos/general/files_juegos-juguetes-seguros_1592926066.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Censos - I.N.D.E.C. (2018) Estudio Nacional sobre el Perfil de las Personas con Discapacidad: resultados definitivos 2018. - 1a ed . - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Instituto Nacional de Estadística y Censos - INDEC.

Mace, R., Jones, M., Mueller, J., Mullick, A., Ostroff, E., Connel, B. R. & Vanderheiden, G. (1997). “Los principios del Diseño Universal”. NC State University. The Center for Universal Design.

Martín, R., Costa Ferrer, M., Rando Hernández, N., Aguilar Pérez, T. (2015) “Diseño para todos en juegos, juguetes y videos” Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. Gobierno de España.

"ARQUITECTURA PARA LA DIGITALIZACIÓN DE LAS CORRIENTES DE AGUA INDUSTRIALES. GESTIÓN Y USO EFICIENTE"

Querini Pedro Luis; Favole Sheila; Lozer Micaela; Arteta Bianca; Fernandez Erica

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Rafaela
pedroquerini@gmail.com; sheilafavole13@gmail.com; mica.lozer45@gmail.com; biancaarteta01@gmail.com; erica82fernandez@gmail.com

RESUMEN

En la era moderna, la digitalización de información se presenta como un imperativo para optimizar procesos industriales, siendo crucial también en la gestión eficiente de recursos como el agua. Este trabajo aborda la digitalización del consumo de agua en industrias con múltiples fuentes de suministro como redes comunales, agua embotellada y agua de pozo. Se propone un enfoque para capturar digitalmente los datos de consumo de cada fuente, utilizando tecnologías como caudalímetros, actuadores, PLC y sistemas de facturación municipal. La metodología incluye la integración de los datos provenientes de cada fuente, siendo estos fundamentales para la toma de decisiones estratégicas en la gestión y el uso eficiente del agua. Para su desarrollo se tomó el marco de referencia RAMI 4.0 (Reference Architecture Model Industry), impulsado por la Plataforma I4.0 de Alemania. La metodología fue aplicada en una PYME del sector alimenticio ubicada en la localidad de Franck que se dedica a la producción de aceite de soja. Este trabajo no solo describe la implementación práctica de la digitalización del consumo de agua industrial, sino que también destaca la importancia de integrar diferentes fuentes de datos en un formato digital coherente. Los resultados obtenidos muestran mejoras significativas en la monitorización en tiempo real y la precisión de los datos de consumo, permitiendo a las industrias optimizar sus procesos y reducir costos operativos asociados con el uso del agua. La arquitectura propuesta proporciona una plataforma robusta y escalable que puede adaptarse a diversas configuraciones industriales, asegurando una gestión sostenible y eficiente de los recursos hídricos.

Palabras Clave: digitalización, industria del agua, caudalímetros, gestión eficiente, decisiones estratégicas.

ABSTRACT

In the modern era, the digitalization of information is imperative for optimizing industrial processes, crucially including the efficient management of resources such as water. This study addresses the digitalization of water consumption in industries with multiple sources of supply, such as communal networks, bottled water, and well water. It proposes an approach to digitally capture consumption data from each source, utilizing technologies like flow meters, actuators, PLCs, and municipal billing systems. The methodology involves integrating data from each source, essential for making strategic decisions in water management and efficient usage. For its development, the RAMI 4.0 (Reference Architecture Model Industry) framework, promoted by Germany's Platform I4.0, was adopted. The methodology was applied in an SME in the food sector located in Franck, dedicated to soybean oil production. This work not only describes the practical implementation of industrial water consumption digitalization but also emphasizes the importance of integrating diverse data sources into a coherent digital format. The results demonstrate significant improvements in real-time monitoring and data accuracy, enabling industries to optimize processes and reduce operational costs associated with water usage. The proposed architecture provides a robust, scalable platform adaptable to various industrial configurations, ensuring sustainable and efficient water resource management.

Keywords: digitalization, water industry, flow meters, efficient management, strategic decisions.

1. INTRODUCCIÓN

El agua se considera un recurso comunitario fundamental en muchas partes del mundo, y las Naciones Unidas han propuesto una serie de objetivos de disponibilidad y calidad que incluyen una mayor eficiencia en el uso del agua (Ronald C Beckett y Nohemi Quispe-Chavez, 2019). En la era de la Industria 4.0, la integración de tecnologías digitales en procesos industriales se ha vuelto esencial para maximizar la eficiencia operativa y minimizar el impacto ambiental. Uno de los desafíos más críticos que enfrentan las industrias hoy en día es la gestión eficaz del agua, un recurso vital cuya escasez se está agravando a nivel global. Según el Instituto Internacional de Gestión del Agua, la agricultura, que consume alrededor del 70% de las extracciones de agua dependiendo del tipo de país, compite constantemente con los usos domésticos, industriales y ambientales por un suministro de agua escaso (Acero Catacora y Lanchipa Valencia, 2021) lo que destaca la importancia de implementar tecnologías avanzadas para optimizar su uso y garantizar la sostenibilidad de los procesos industriales.

Existen múltiples autores que recurren a herramientas de la revolución 4.0 para dar soluciones a la gestión del agua en industrias (Dr. Tofael Ahamed, 2019; García et al., 2020), quienes manifiestan que los sistemas basados en Internet de las cosas proporcionan soluciones a los agricultores de gran escala. El problema principal reside en la dependencia de sistemas de gestión del agua fragmentados y obsoletos, que dificultan una visión integral del consumo y la implementación de mejoras significativas. La falta de integración entre diferentes fuentes de agua y los sistemas de monitorización en tiempo real genera ineficiencias operativas y un uso insostenible del recurso. Además, la presión regulatoria y la necesidad de cumplir con normativas ambientales más estrictas agravan la situación, requiriendo soluciones que combinen precisión, eficiencia y sostenibilidad.

Como respuesta a estas problemáticas, este trabajo propone una arquitectura digital basada en el modelo RAMI 4.0 (Reference Architecture Model for Industry 4.0) para la gestión y optimización de las corrientes de agua industriales (“DIN SPEC 91345:2016-04, Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0),” 2016). Esta arquitectura permite la captura y el análisis en tiempo real de datos provenientes de múltiples fuentes hídricas, integrando tecnologías como caudalímetros, actuadores y controladores lógicos programables (PLC).

La validación de esta arquitectura se llevó a cabo en una planta del sector alimenticio ubicada en Franck, Argentina. Se implementó la solución digital propuesta, integrando todas las fuentes de agua en un sistema de gestión unificado. La aplicación exitosa de esta arquitectura digital en la planta de Franck ofrece un modelo replicable para otras industrias que buscan optimizar la gestión de sus recursos hídricos a través de la digitalización, contribuyendo así a un uso más sostenible del agua a nivel global.

2. ARQUITECTURA DE DIGITALIZACIÓN DE CORRIENTES DE AGUA.

2.1. Tipos de fuentes de agua

Industrialmente, las fuentes de agua que se utilizan son agua embotellada, agua potable provista por una empresa (agua de red) y agua extraída de fuentes naturales como puede ser un curso de agua superficial o subterráneo. Este último tipo, requiere usualmente de un tratamiento posterior que se relaciona con el tipo de proceso al que va dirigido (osmosis, ablandamiento, cloración, etc).

La particularidad de cada fuente es el destino dentro de la industria, por ejemplo, el agua embotellada es de consumo humano, el agua de red para consumo y uso sanitario y el agua de fuentes naturales de uso para procesos.

Respecto a la gestión del consumo de agua, cada una de estas fuentes recibe un tratamiento diferenciado ya que la disponibilidad de información se encuentra agrupada mensual o bimensual para el agua de red, por documento de pedido o compra en el agua embotellada y, para agua extraída de cursos naturales, el uso se monitorea con el volumen almacenado disponible o, en un caso avanzado, con monitores de caudal (caudalímetros).

2.2. Digitalización de datos

Basado en el estándar que propone el Modelo de Arquitectura de Referencia para la Industria 4.0 (RAMI4.0), en el eje de digitalización, se puede adoptar cada una de las fuentes de agua como un activo digital del cual extraer información para lograr el objetivo de la gestión y uso eficiente del recurso (Tabla 1).

Tabla 1. Arquitectura para la digitalización de los datos

CAPA	FUENTES		
	AGUA DE RED	AGUA ENVASADA	CURSO NATURAL
ACTIVO DIGITAL	Agua	Agua	Agua
INTEGRACIÓN	Factura-Servidor	Factura u orden de compra-Servidor	Caudalímetros – PLC - Servidor
COMUNICACIÓN	Internet	Internet	Internet
INFORMACIÓN	Consumo [m3]	Consumo [l]	Consumo [m3]
FUNCIÓN	Comparativa	Comparativa	Comparativa
NEGOCIO	Gestión y uso eficiente		

Agua de Red: En la capa de Activo de la RAMI 4.0, el agua de red se considera como un recurso físico esencial. La capa de Integración utiliza las facturas generadas por la empresa para representar digitalmente el consumo de agua, permitiendo la transición del mundo físico al mundo digital. La factura es cargada a una base de datos para que cada dato esté disponible para hacer consultas. La Comunicación se facilita mediante internet, permitiendo el acceso y transmisión de datos relevantes. En la capa de Información, los datos de consumo de agua de red se expresan en metros cúbicos (m^3) que se cargan en un documento de gestión de datos, como ser una hoja de cálculo, proporcionando una descripción precisa y estructurada del uso. La capa Funcional emplea estos datos para realizar comparativas, evaluando el consumo en función del tiempo, la estacionalidad e inclusive de otras fuentes de agua. Finalmente, en la capa de Negocio, se destaca la gestión y uso eficiente del agua, asegurando la optimización de recursos y reducción de costos operativos.

Agua Envasada: Para el agua envasada, la capa de Activo digitaliza este recurso como agua en su forma física. La capa de Integración utiliza facturas o órdenes de compra para documentar el uso y suministro del agua envasada. Al igual que el agua de red, el consumo de agua embotellada es cargada a una base de datos en un servidor. La Comunicación, a través de internet, garantiza la disponibilidad y transferencia de estos datos a los sistemas pertinentes. En la capa de Información, el consumo se registra en litros (l), ofreciendo un detalle cuantitativo preciso. La capa Funcional se dedica a la comparación del consumo de agua envasada con otras fuentes, facilitando análisis detallados. En la capa de Negocio, la gestión eficiente y el uso estratégico del agua envasada son priorizados para mejorar la sostenibilidad y eficacia operativa de la industria.

Curso Natural: En cuanto al agua de cursos naturales, la capa de Activo considera el agua en su estado físico. La integración se realiza mediante caudalímetros y PLCs. El PLC se comunica con un sistema SCADA el cual debe permitir extraer información para que se almacene en una base de datos dentro del servidor. Luego, la comunicación se realiza mediante internet, la información que se recolecta es en m3 y la capa de negocio es compartida con los otros activos.

2.3. Gestión de los datos y capa de negocio

La digitalización de datos de consumo de agua en una empresa es crucial por diversas razones, especialmente en el ámbito medioambiental, y también ofrece beneficios significativos para otras áreas corporativas, además de generar potenciales oportunidades comerciales. A continuación, se detalla la importancia y el impacto de esta digitalización:

2.3.1. Impacto en el Área de Medio Ambiente

La digitalización de los datos de consumo de agua permite una monitorización precisa y en tiempo real, lo cual es esencial para la gestión ambiental. Estos datos proporcionan una visión detallada del uso de recursos hídricos, permitiendo identificar y reducir desperdicios, optimizar el consumo y asegurar el cumplimiento de normativas ambientales. Con información detallada y precisa, la empresa puede implementar medidas de sostenibilidad más efectivas, reducir su huella hídrica y mejorar su imagen ambiental ante reguladores y consumidores.

2.3.2. Beneficios para Otras Áreas

Producción y Operaciones: Con datos precisos sobre el consumo de agua, las áreas de producción pueden ajustar sus procesos para ser más eficientes, reduciendo costos y mejorando la productividad. La disponibilidad de datos en tiempo real permite una respuesta rápida a cualquier anomalía en el consumo, evitando interrupciones en la producción.

Finanzas: La digitalización del consumo de agua facilita la elaboración de presupuestos más precisos y el control de costos operativos. Los datos históricos y en tiempo real permiten a los equipos financieros realizar análisis de costos detallados y proyectar ahorros potenciales a través de la optimización del uso del agua.

Mantenimiento: Los datos digitales pueden ayudar a predecir y prevenir problemas en el equipo relacionado con el suministro de agua, mediante el monitoreo constante de los sistemas y la identificación temprana de posibles fallos. Esto permite un mantenimiento más proactivo y menos costoso.

Marketing y Responsabilidad Social Corporativa (RSC): La empresa puede utilizar los datos para mostrar su compromiso con la sostenibilidad y la gestión eficiente de recursos, mejorando su reputación y atractivo ante clientes y socios.

2.3.3. Oportunidades Comerciales

La recopilación y análisis de datos de consumo de agua no solo mejora la eficiencia interna, sino que también puede transformarse en una fuente de ingresos. La empresa podría ofrecer estos datos a otras organizaciones interesadas en benchmarks de consumo de agua, investigaciones ambientales, o desarrollo de tecnologías sostenibles.

Consultoría Ambiental: Ofrecer servicios de consultoría basados en los datos recopilados, ayudando a otras empresas a optimizar su consumo de agua y mejorar sus prácticas ambientales.

Venta de Datos: Vender los datos a instituciones de investigación, organismos gubernamentales, o empresas de tecnología que desarrollan soluciones para la gestión del agua.

Desarrollo de Software: Crear aplicaciones o plataformas que utilicen estos datos para ofrecer insights sobre el consumo de agua a otras empresas, facilitando la gestión eficiente de sus recursos.

En resumen, la digitalización del consumo de agua no solo tiene un impacto significativo en la gestión ambiental de una empresa, sino que también ofrece beneficios tangibles para diversas áreas internas y abre nuevas oportunidades comerciales.

3. CASO DE ESTUDIO.

3.1. Descripción de la empresa

La planta aceitera Colibrí está ubicada en la comuna de Franck, en el departamento Las Colonias, a 40 km de Santa Fe y a 15 km de Esperanza, en la Ruta Provincial 6, km 57,5. Esta planta es una de las tres grandes unidades de negocio que operan en el sector agropecuario del predio. Las principales actividades de Colibrí incluyen el procesamiento de granos de soja para obtener aceite crudo, el refinado del aceite, y la producción de goma, expeler y borra.

El predio, con una superficie de 2,25 hectáreas, aloja todas las etapas de producción de aceite crudo, expeler y aceite refinado de soja. Colibrí produce expeler y aceite crudo mediante extrusión y prensado, sin el uso de aditivos ni solventes. También refina aceite de soja, generando subproductos como borra de neutralización y ácidos grasos del desodorizado, que son comercializados. El proceso de refinado incluye la adición de sílice y tierras de blanqueo naturales para cumplir con las especificaciones de la Cámara de Cereales.

En la Tabla 2 se muestra la producción anual de Colibrí. Toda la producción se destina al mercado interno, principalmente para la industria del biodiesel y pinturería, y no se exporta.

Tabla 2. Producción anual promedio

	Capacidad instalada (Tn/mes)	producción promedio (Tn/mes)	Valor U$D/tn
Expeler	3000	2000	$ 300,00
Ac. Crudo	1000	280	$ 715,00
Ac. Refinado	10000	5000	$ 800,00

La producción anual de Colibrí asciende a 21,000 toneladas de expeler, 3,200 toneladas de aceite crudo y 13,200 toneladas de aceite refinado. Toda la producción se destina al mercado interno, principalmente para la industria del biodiésel, y no se exporta.

La planta cuenta con aproximadamente 50 empleados distribuidos entre las tres unidades de negocio: 20 en producción (extracción de aceite crudo y refinado del crudo), 6 en mantenimiento, 3 en calidad, 20 en administración y 1 en transporte.

3.2. ARQUITECTURA DE LA DIGITALIZACIÓN DE LAS FUENTES DE AGUA

En la Tabla 3, se muestra la arquitectura aplicada para el proceso de digitalización de las diferentes fuentes de agua dentro de la empresa que serán descriptas en las secciones posteriores.

Tabla 3. Arquitectura de las fuentes de agua

CAPA	FUENTES		
	AGUA DE RED	AGUA ENVASADA	CURSO NATURAL
ACTIVO DIGITAL	Agua	Agua	Agua
INTEGRACIÓN	Factura bimensual-Servidor SQL	Factura u orden de compra mensual-Servidor SQL	Caudalímetros (pulso 5 segundos), PLC-MODBUS TCP-SCADA - Servidor SQL
COMUNICACIÓN	Internet	Internet	Internet
INFORMACIÓN	Consumo [m3]	Consumo [l]	Consumo [m3]
FUNCIÓN	Comparativa – Software SCC	Comparativa – Software SCC	Comparativa – Software SCC
NEGOCIO	Gestión y uso eficiente – Software Power BI		

3.2.1. CAPA ACTIVO DIGITAL

El activo digital en todos los casos es el agua, solo que el agua en sus distintas formas de fuente con sus diferentes usos y destinos. En la Figura 1 se muestra la imagen de la planta a grandes rasgos, las diferentes fuentes de agua y a que sectores corresponde.

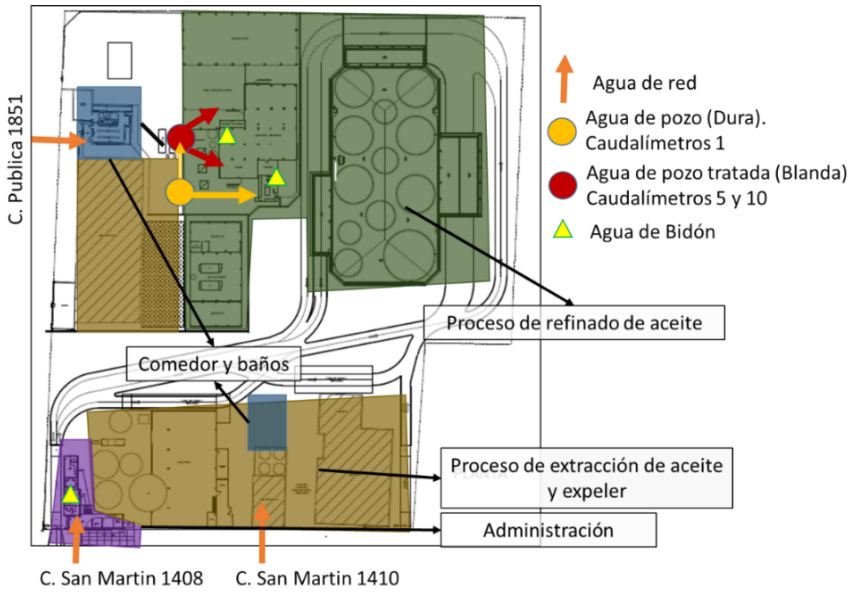


Figura 1. Fuentes de agua y usos en la empresa.

La utilización de las diferentes corrientes de agua en la empresa se distribuye por proceso productivo y producto final y se describe en la Tabla 4. En la tabla puede observarse que el agua de red de calle San Martin 1410, se usa para el producto expeler para humedecer y enfriar el expeler en el almacenamiento. Esto se hace cuando no se puede utilizar el agua blanda que sale del proceso de refinación de aceite crudo. Esta agua blanda es un desecho 100% orgánico que se reutiliza por su aporte de grasa y humedad en el almacén de expeler, pero cuando ese residuo escasea, se debe utilizar agua potable.

En el sector de aceite crudo, se usa agua de red del medidor de calle san Martin 1410 para limpieza de manos y el comedor, mientras que, en el proceso de aceite refinado, se usa agua de bidón para consumo y el agua dura y blanda (ambas aguas de pozo, una tratada y la otra no) para riego, limpieza y el proceso.

Tabla 4. Distribución de las corrientes de agua por producto final y proceso productivo.

FUENTE		EXPELER	AC. CRUDO	AC. REFINADO
AGUA RED	CALLE PUBLICA 1851	NO	NO	NO
	CALLE SAN MARTIN 1410	ENFRIADO Y HUMEDECIDO DE EXPELER CUANDO NO SE USA AGUA BLANDA	LIMPIEZA DE MANOS Y COMEDOR	NO
	CALLE SAN MARTIN 1408	NO	NO	NO
AGUA BIDÓN		NO	NO	CONSUMO HUMANO
AGUA DURA	CAUDALÍMETROS 1	NO	NO	LIMPIEZA, RIEGO, PROCESO
AGUA BLANDA	CAUDALÍMETROS 5 Y 10	AGUA BLANDA, LUEGO DE SER USADA EN PROCESO, SE USA PARA ENFRIAR Y HUMEDECER EXPELER	NO	PROCESO Y LIMPIEZA

El agua de la calle publica 1851, se considera que no aporta al proceso productivo propiamente dicho, sino que se usa exclusivamente para los empleados en términos de baños y vestuarios. De esta manera es que en la Tabla 5 se describen las corrientes de agua desde la perspectiva de cuantas personas utilizan esa corriente y a que sector de la empresa pertenecen.

Tabla 5. Consumo de las corrientes de agua por tipo de empleado

SECTORES		SECTOR DE ACEITE REFINADO				EXTRACCIÓN DE ACEITE CRUDO Y EXPELER	ADMINISTRACION	MECANICOS	CAMIONEROS	OTROS	TOTAL
FUENTE		REFINERIA	LABORATORIO	LIMPIEZA	PLAYA						
Agua red	Calle Publica 1851	*6*	*3*	*2*	*4*	*7*	*0*	*6*	*0*	*0*	**28**
	Calle San Martin 1410	*0*	*0*	*2*	*0*	*6*	*2*	*6*	*4*	*0*	**20**
	Calle San Martin 1408	*0*	*0*	*2*	*0*	*0*	*25*	*0*	*0*	*0*	**27**
Agua Bidón		*6*	*3*	*2*	*0*	*0*	*25*	*0*	*0*	*0*	**36**
Agua DURA	Caudalímetros 1	*6*	*0*	*2*	*4*	*0*	*0*	*6*	*4*	*5*	**27**
Agua Blanda	Caudalímetros 5 y 10	*6*	*3*	*2*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	**11**

El agua de red la utiliza personal de todos los sectores. El agua de bidones se utiliza en los sectores de administración, calidad y refinado de aceite crudo. Finalmente, el agua de curso natural se utiliza en calidad y en el sector de producción de refinado de aceite crudo.

3.2.2. CAPA INTEGRACIÓN DE LOS DATOS.

El flujo de información desde el mundo físico al mundo digital fluye diferente dependiendo de la corriente de agua que se trate. El agua de red comunal provee facturas bimensuales, el agua de bidones es mensual y el agua de pozo es cada 5 segundos. Toda esa información se integra en el servidor SQL que posee la empresa cuya base de datos puede ser leída y modificada mediante un software propio denominado Sistema de Control de Comprobantes. Este software tiene la capacidad de crear tablas exportables a partir de la base de datos para realizar las funciones solicitadas para alcanzar el negocio previsto.

En cuanto al agua de cursos naturales, los caudalímetros tienen una salida de pulsos o frecuencia, donde un determinado caudal corresponde a una cantidad de pulsos (por ejemplo, 0 l/min equivale a 0 Hz y 90 l/min a 265 Hz). Estos pulsos se leen en una entrada de conteo rápido del PLC. En el programa, se cuenta la cantidad de pulsos por segundo y se escala según la relación pulsos/caudal. Para totalizar, se va sumando el caudal en el tiempo también en el PLC. El tratamiento dentro del PLC, en ambos casos, es escalar la señal del valor que entrega el caudalímetros a l/h. El PLC tiene dos tipos de entradas digitales: las comunes y las rápidas. Las entradas comunes se utilizan para un pulsador, por ejemplo, mientras que las rápidas son entradas que no dependen del retraso que pueda tener el programa. La comunicación entre los PLC y SCADA se realiza mediante Modbus TCP.

3.2.3. RESULTADOS: CAPA DE INFORMACIÓN.

La capa de información es la que muestra los resultados de cada una de las fuentes de agua. En esta instancia se tiene el consumo por fuente, por fecha y en unidades de consumo en período de tiempo.

En la Figura 2 se muestra el consumo del agua de red para los medidores comunales, los cuales se ubican 2 sobre calle San Martin y uno sobre la calle Pública. Los datos son recolectados desde octubre del 2021 hasta mayo de 2024, de manera mensual y se muestran en metros cúbicos, por ejemplo, en febrero 2023, la calle san Martin 1410 consumió 103 m3 y en total ese mes se consumieron 121 m3. Puede notarse que principalmente el consumo de calle San Martin al 1410 es preponderante de los 3, y el motivo principal es que ese consumo se da en producción, taller de mantenimiento y comedor. Por otro lado, también es importante notar que los resultados se muestran idénticos cada 2 meses y eso es debido a que la facturación es bimensual y lo que se muestra es la facturación dividido 2.

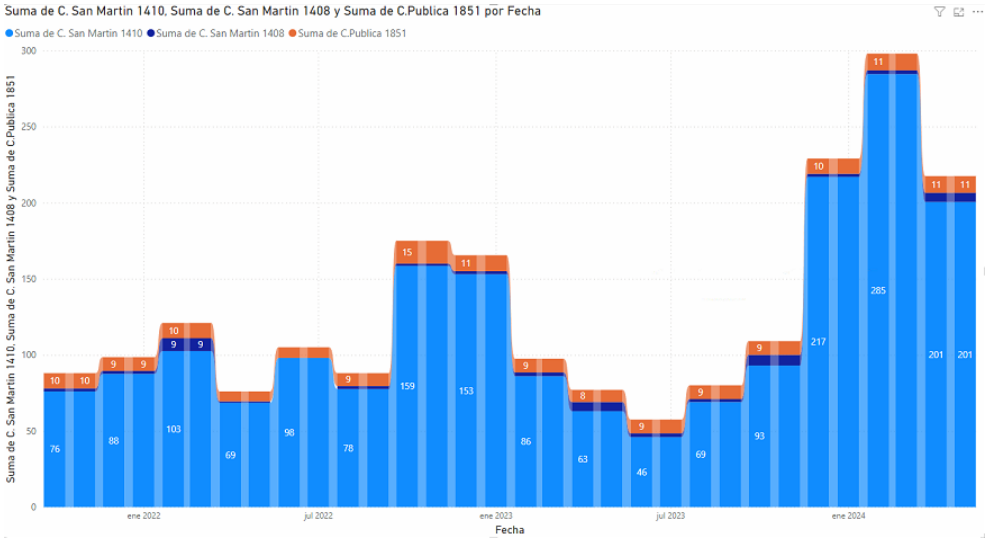


Figura 2. Consumo de agua por fuente de red para los 3 medidores.

En la Figura 3, se muestran los caudalímetros que totalizan el agua extraída de pozo. El caudalímetros 1 es el que marca el agua de pozo que fue extraída y usada como agua de pozo, mientras que el

caudalímetros 5 y 10 muestra el agua que fue extraída de pozo y sometida a un proceso de mejora (ablandamiento mediante resina de intercambio iónico) para ser utilizada en el proceso productivo. Los datos son almacenados con una frecuencia de 5 segundos y se agrupan para mostrarse desde noviembre del 2023 hasta junio del 2024. Los resultados se muestran en millones de litros, por ejemplo, en noviembre del 2023 se consumieron 256000000 litros de agua de pozo, lo que es equivalente a 256000 m3 en el mes.

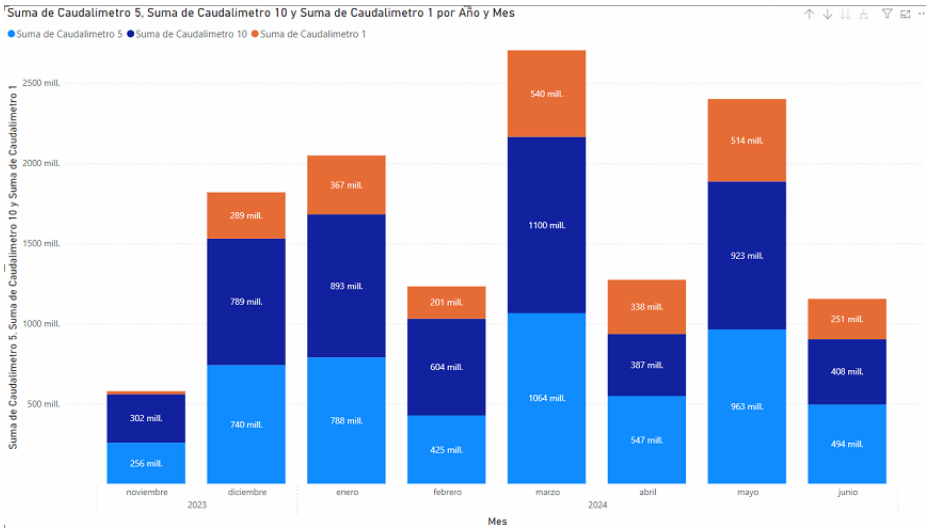


Figura 3. Caudalímetros que totalizan el agua extraída de pozo

Finalmente, en la Figura 4**,** se muestra el consumo de agua en bidones para los meses desde julio de 2023 hasta junio de 2024 en metros cúbicos. Estos datos, son recolectados a partir de las facturas de compras de bidones.

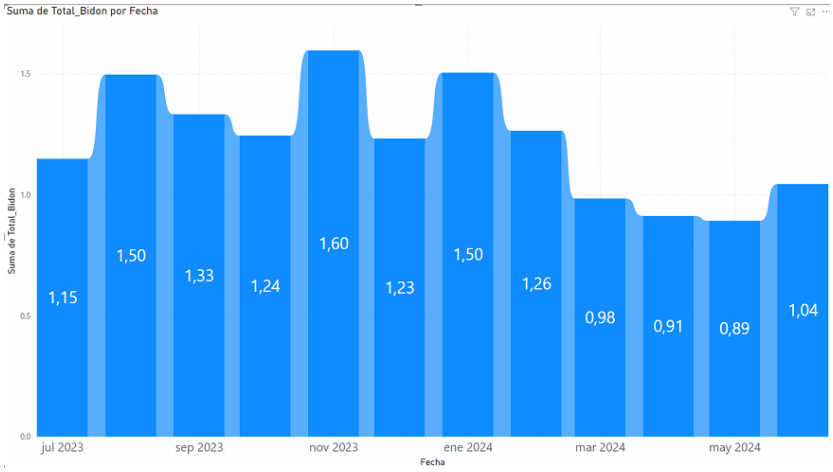


Figura 4. Consumo de agua en bidones.

3.2.4. CAPA DE FUNCIÓN. ANALISIS DE RESULTADOS.

Los resultados en la capa de función son analizados para que las conclusiones sirvan como toma de decisión. Por ejemplo, en el análisis de la capa de información resulta claro que el mayor volumen de agua en la empresa resulta de la extracción de agua de pozo siendo que está en el orden de los miles de metros cúbicos mensuales. Sin embargo, cuando se compara el agua de consumo humano (Figura 5), agua de red y bidones se puede observar que el principal consumo se está dando en Calle San Martin 1410.

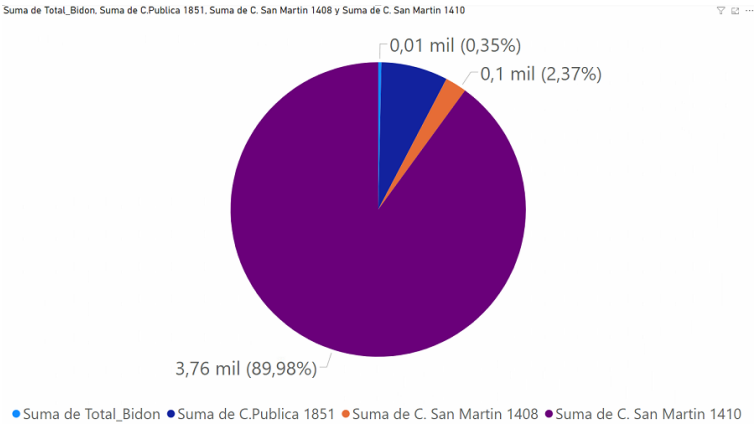


Figura 5. Comparación de consumos de agua potable.

En la Tabla 4, se puede observar el uso de cada fuente de agua en la elaboración de cada uno de los 3 principales productos que se obtienen en la empresa. Particularmente, debe observarse que en la elaboración de expeler se utiliza agua de red de calle san Martin 1410 para humedecer y enfriar el expeler cuando no se usa el agua blanda de desecho de la producción de refinado.

En la Figura 6 puede notarse la diferencia de consumo que existió particularmente entre los meses de enero a mayo de los años 2022, 2023 y 2024. Se observa que, en 2024, el consumo aumenta de manera excesiva existiendo en los meses febrero y marzo consumos de 199m3 más que lo que se había consumido en 2022 y de 138m3 para los meses de abril y mayo.

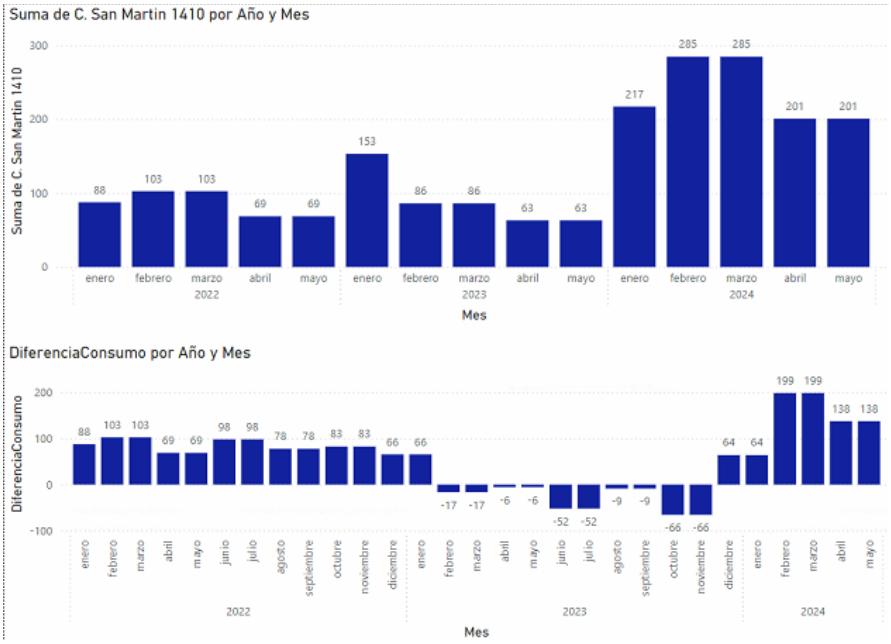


Figura 6. Diferencia interanual de consumo en la C. San Martin 1410

Este primer dato, sirve como herramienta de toma de decisiones para analizar el comportamiento del sector de producción de expeler y todos aquellos sectores que usen ese tipo de fuente de agua. Particularmente, se pudo concluir que el excesivo aumento de consumo de esa fuente de agua correspondió a fugas que no habían sido detectadas anteriormente y a que, durante ese tiempo, debido a que el agua blanda usada en proceso de producción de aceite, tenía temperatura elevada lo que afectaba el enfriado del expeler y que por esa razón se eligió enfriar y humedecer con el agua de red.

En la Tabla 5, se muestra la cantidad de personas que utilizan la corriente de agua designada. Este dato, resulta importante para establecer medidas de consumo de agua potable por persona.

En la Figura 7, se puede observar el consumo de agua de red por persona para los dos medidores restantes. Puede observarse un comportamiento estacional para el consumo principalmente administrativo de calle San Martin 1408 en abril-mayo y en octubre-noviembre y el consumo parejo

intermensual para la calle publica 1851, en donde principalmente el agua utilizada es para vestuario y comedor. Puede observarse que cuando se compara con períodos iguales anteriores (mes a mes de años diferentes) en la línea de la calle pública, se da un consumo mayor que el año anterior excepto en el periodo febrero-marzo 2023 y octubre 2023-enero 2024. Cuando se compara el consumo de calle san Martin al 1408, puede observarse que el consumo interanual no tiene variaciones significativas.

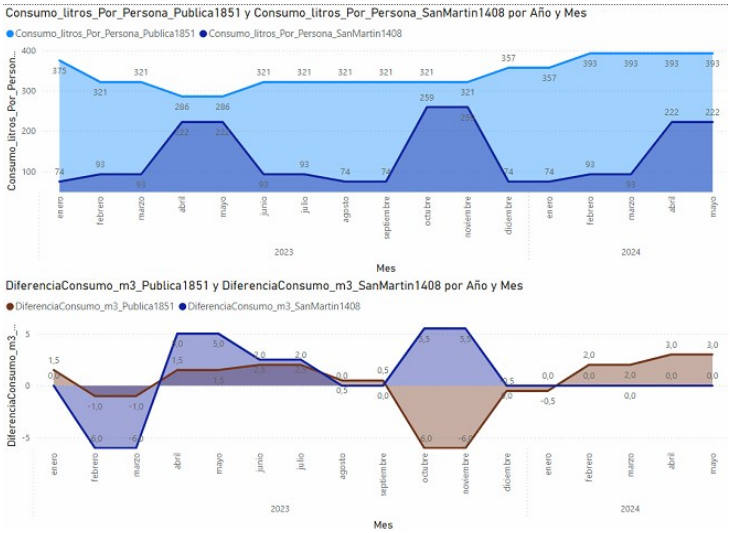


Figura 7. Consumo de C. San Martin 1408 y Publica 1851 interanual

En la Figura 8, se muestra el consumo de litros de agua proveniente de bidones por persona por mes, contemplando la cantidad de personas que utilizan esta fuente de agua como consumo.

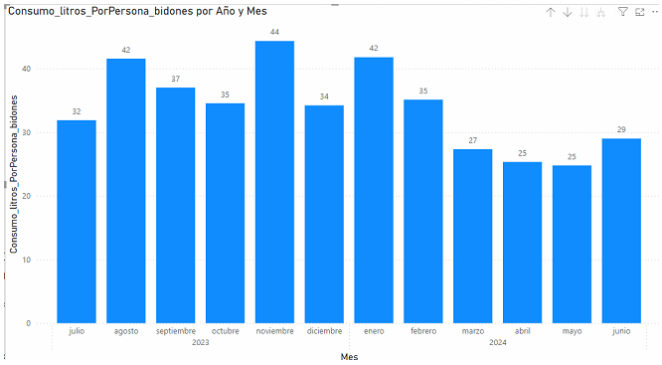


Figura 8. Consumo de litros por persona por mes y año

Por otro lado, la Figura 9 muestra la cantidad de bidones de 12 y 20 litros comprados por mes dividido la cantidad de personas que utilizan esta fuente de agua.

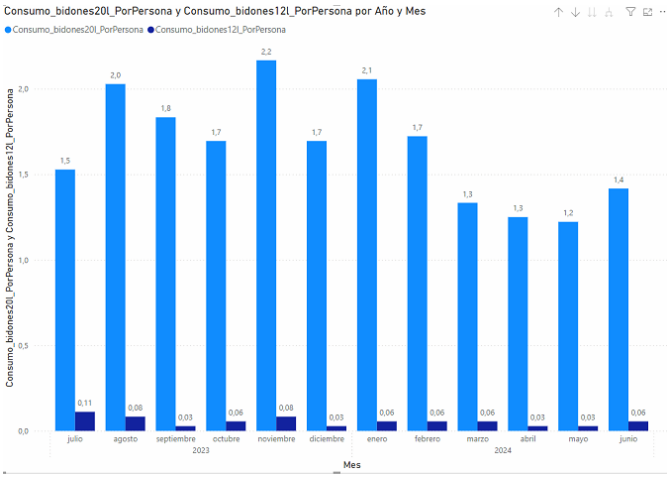


Figura 9. Consumo de cantidad de bidones de 20 y 12 litros por mes por persona.

Estos datos resultan de interés para el sector de compras que necesita hacer previsiones de compra de estos consumibles basados en datos. De no modificarse la nómina de personal, se podría asumir que para el mes de julio se requerirán 1.5 bidones de 20litros por las 36 personas que utilizan esta fuente y 0.11 bidones de 12 por las 36 personas, lo que da un resultado de 4 de 12 litros y 54 de 20 litros.

3.2.5. NEGOCIOS O BUSINES.

La digitalización de los datos de consumo de agua en una empresa no solo mejora la gestión ambiental, sino que también proporciona ventajas sustanciales para diversas áreas corporativas y abre nuevas oportunidades comerciales. Analizando las diferentes fuentes de agua -red comunal, agua embotellada y cursos naturales- y los datos recopilados, se pueden identificar oportunidades de negocio específicas con impacto en diferentes áreas corporativas.

- **Impacto en Áreas Corporativas**

Gestión Ambiental: La digitalización de los datos de consumo de agua permite a la empresa monitorizar y optimizar el uso de los recursos hídricos, asegurando un uso sostenible del agua de red, embotellada y de pozo. Esto no solo ayuda a reducir el impacto ambiental, sino que también garantiza el cumplimiento de las normativas ambientales y mejora la reputación de la empresa como una entidad responsable y comprometida con la sostenibilidad.

Producción y Operaciones: La información precisa y en tiempo real sobre el consumo de agua en diferentes partes de la empresa, como el taller de mantenimiento y el comedor, permite optimizar los procesos productivos. Por ejemplo, al identificar que el agua de red es utilizada predominantemente en la producción y el taller de mantenimiento, se pueden implementar medidas para reducir el consumo y mejorar la eficiencia operativa, como la detección y reparación de fugas.

Gestión Financiera: La disponibilidad de datos detallados sobre el consumo de agua embotellada y de red permite un control más eficiente de los costos y una mejor elaboración de presupuestos. Esto facilita la identificación de oportunidades para reducir gastos, justificar inversiones en tecnologías de ahorro de agua y realizar análisis financieros detallados para prever ahorros potenciales.

Mantenimiento: La monitorización continua de los sistemas de agua mediante caudalímetros y otros dispositivos permite un mantenimiento predictivo y proactivo. La detección temprana de anomalías en el consumo de agua, como fugas no detectadas anteriormente, permite a los equipos de mantenimiento abordar problemas antes de que provoquen interrupciones o reparaciones costosas.

Compras y Logística: Los datos de consumo de agua embotellada permiten al sector de compras hacer previsiones precisas sobre la necesidad de adquirir bidones de agua. Al conocer el consumo mensual por persona, se pueden planificar las compras de manera eficiente, evitando tanto la escasez como el exceso de inventario.

- **Oportunidades de Negocio**

Consultoría Ambiental: La empresa puede ofrecer servicios de consultoría ambiental basados en la experiencia y los datos recopilados sobre el consumo de agua. Utilizando los datos de consumo de agua de red, embotellada y de pozo, la empresa puede asesorar a otras organizaciones sobre cómo optimizar su uso del agua e implementar prácticas sostenibles.

Servicios de Datos: La información detallada sobre el consumo de agua recopilada a lo largo del tiempo puede ser valiosa para diversas partes interesadas, como institutos de investigación, organismos gubernamentales y empresas tecnológicas. La empresa puede vender o licenciar estos datos, especialmente aquellos relacionados con el consumo de agua de pozo y de red, proporcionando una fuente adicional de ingresos. Por ejemplo, los datos de consumo mensual de agua de red en la calle San Martin 1410 y los resultados de los caudalímetros de pozo pueden ser utilizados para estudios ambientales y desarrollos tecnológicos.

Desarrollo de Software: Desarrollar software o plataformas que utilicen los datos de consumo de agua para proporcionar insights y recomendaciones puede ser otra oportunidad lucrativa. Estas herramientas pueden ser comercializadas a otras empresas que busquen mejorar sus prácticas de gestión del agua. Ofrecer un modelo de suscripción para acceder al software puede proporcionar una fuente constante de ingresos.

Educación y Formación: La empresa puede desarrollar programas de formación y talleres sobre gestión eficiente del agua basados en los datos y análisis recopilados. Estos programas pueden ser ofrecidos a otras empresas y organizaciones, posicionando a la empresa como líder en la educación sobre sostenibilidad y gestión del agua.

Colaboración con Organizaciones de Investigación: Colaborar con universidades y centros de investigación para compartir datos y participar en proyectos conjuntos puede abrir nuevas oportunidades para innovaciones y desarrollos tecnológicos en la gestión del agua. Esto no solo puede generar ingresos adicionales, sino también posicionar a la empresa como un socio valioso en la investigación y desarrollo sostenible.

4. CONCLUSIONES

La digitalización del consumo de agua en entornos industriales no solo promueve una gestión eficiente de los recursos, sino que también presenta numerosos beneficios para diversas áreas corporativas y abre nuevas oportunidades comerciales. Al aprovechar datos precisos y en tiempo real, las empresas pueden mejorar la sostenibilidad ambiental, optimizar la eficiencia operativa y lograr ahorros significativos en costos. Además, la posibilidad de monetizar los datos de consumo de agua y los servicios relacionados abre nuevas vías para el crecimiento empresarial. La implementación de una arquitectura digital integral, como se demuestra en este estudio, resalta el potencial transformador de las tecnologías de la Industria 4.0. Al integrar diversas fuentes de datos en un formato digital coherente, las empresas pueden desbloquear conocimientos accionables que impulsan la toma de decisiones estratégicas y la excelencia operativa. En última instancia, la transición a la gestión digital del agua no es solo una actualización tecnológica, sino un imperativo estratégico que se alinea con los objetivos empresariales más amplios, la responsabilidad ambiental y la competitividad en el mercado. El enfoque descrito en este estudio proporciona un marco sólido para las industrias que desean embarcarse en este viaje transformador, asegurando una gestión sostenible y eficiente de los recursos hídricos a largo plazo.

REFERENCIAS

Acero Catacora, C. C. y Lanchipa Valencia, E. (2021). Implementación de un sistema de internet de las cosas para optimizar la gestión del agua en la agricultura de la Región Tacna. *INGENIERÍA INVESTIGA*, *3*(1), 519–533. https://doi.org/10.47796/ing.v3i1.478

DIN SPEC 91345:2016-04, Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0) (2016). https://doi.org/10.31030/2436156

Dr. Tofael Ahamed (2019). Deep learning and IoT-based pump systems for precision irrigation: Smart irrigation minimizes water losses and increases crop production. https://www.apo-tokyo.org/articles/deep-learning-and-iot-based-pump-systems-for-precision-irrigation/

García, L., Parra, L., Jimenez, J. M., Lloret, J. y Lorenz, P. (2020). Iot-Based Smart Irrigation Systems: An Overview on the Recent Trends on Sensors and IoT Systems for Irrigation in Precision Agriculture. *Sensors (Basel, Switzerland)*, *20*(4). https://doi.org/10.3390/s20041042

Ronald C Beckett y Nohemi Quispe-Chavez (2019). DAIRY PROCESS WATER UTILISATION AND INDUSTRY 4.0. *17th ANZAM Operations, Supply Chain and Service Management Conference*.

"ANÁLISIS DE LA BRECHA ENTRE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LOS PROCESOS DE UN TAMBO Y LO REQUERIDO EN UNA EMPRESA 4.0"

Bangert, Vanesa Julieta; Faba, Emilce; Fontana, Camila

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Santa Fe
vjbanger@frsf.utn.edu.ar; efaba@frsf.utn.edu.ar; cfontana@frsf.utn.edu.ar

RESUMEN

Este trabajo se desarrolla en el marco del PID "PROCESO DE TRAZABILIDAD DE PRODUCTOS LÁCTEOS: INCORPORACIÓN DE LA INDUSTRIA 4.0 Y DE LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL EN PYMES DE DISTINTOS ESLABONES DEL SECTOR". A partir del proceso de investigación en las temáticas del PID y del vínculo con un tambo de la zona de San Agustín, por medio de un Convenio de Colaboración con la UTN Santa Fe, se están llevando adelante una serie de actividades con el objetivo de integrar las funciones "investigación – extensión y de enseñanza aprendizaje", trabajando en el marco de un proceso de integración académica con una visión orientada al medio socio productivo.
En particular, en esta etapa, el equipo del PID se encuentra analizando el estado de madurez digital del tambo, documentando su proceso productivo e investigando los requerimientos de base para comenzar a transitar el camino de la transformación digital. En base a esto se presenta en esta instancia, un trabajo referido a la brecha que existe hoy entre la situación actual del tambo y lo requerido para ser una empresa 4.0.
Luego, se diseñará una propuesta como Plan de Transformación Digital, trabajando en paralelo sobre el camino a seguir para el desarrollo de una Industria 5.0. En este sentido, la búsqueda de la mejora en la calidad de la leche requiere abordar un proceso integral de gestión del cambio, fortaleciendo las prácticas operativas de tamberos, técnicos, personal de rodeo y equipo de gestión de la empresa.

Palabras Claves: Industria 5.0 – Personas – Procesos – Tecnología - Cambio.

ABSTRACT

This work is developed within the framework of the PID "TRACEABILITY PROCESS OF DAIRY PRODUCTS: INCORPORATION OF INDUSTRY 4.0 AND DIGITAL TRANSFORMATION IN SMEs IN DIFFERENT LINKS OF THE SECTOR". Based on the research process on the PID topics and the link with a dairy farm in the San Agustín area, through a Collaboration Agreement with the UTN Santa Fe, a series of activities are being carried out with the objective of integrating the "research – extension and teaching-learning" functions, working within the framework of a process of academic integration with a vision oriented to the socio-productive environment.
In particular, at this stage, the PID team is analyzing the state of digital maturity of the dairy, documenting its production process and investigating the basic requirements to begin traveling the path of digital transformation. Based on this, a work is presented in this instance referring to the gap that exists today between the current situation of the dairy and what is required to be a 4.0 company.
Then, a proposal will be designed as a Digital Transformation Plan, working in parallel on the path forward for the development of Industry 5.0. In this sense, the search for improvement in milk quality requires addressing a comprehensive change management process, strengthening the operational practices of dairy farmers, technicians, rodeo personnel and the company's management team.

Keywords: Industry 5.0 - People – Process – Technology - Change.

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo es parte de una de las primeras líneas de acción del PID “PROCESO DE TRAZABILIDAD DE PRODUCTOS LÁCTEOS: INCORPORACIÓN DE LA INDUSTRIA 4.0 Y DE LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL EN PYMES DE DISTINTOS ESLABONES DEL SECTOR”.

Es clave tener presente que el proyecto se planteó sobre la base de una integración entre la investigación, extensión y docencia, a partir de lo cual, las actividades propuestas consideran la intervención y estudio en una empresa real. Esto se materializa a partir de la posibilidad de llevar adelante actividades del PID en un tambo de la zona, formalizando el vínculo entre la UTN – Santa Fe y la empresa por medio de un Convenio de Colaboración.

El PID se enmarca en toda la Cadena de Valor del Sector Lácteo, desde la producción primaria hasta el cliente, es decir, “desde el campo a la mesa”. En Argentina, en la provincia de Santa Fe, hay un importante desarrollo del sector lácteo en todos sus niveles, en producción primaria, industrialización y comercialización. Además de estos tres eslabones principales, intervienen en la cadena otros actores necesarios para la práctica de la actividad; esto es, proveedores de bienes, insumos y servicios, tanto para tambos como para industrias.

Según el INFORME DE CADENA DE VALOR LACTEOS [1], existen en Argentina 10.446 tambos con diferentes tamaños y modelos tecnológicos de producción. Respecto del eslabón industrial se contabilizaron en 2022, 670 Plantas Usinas lácteas (91 % PYMES), distribuidas de la siguiente forma: Buenos Aires 44%, Córdoba 28%, Santa Fe 15%, Entre Ríos 9%. En dicho Informe se menciona que esta Cadena de Valor presenta una importante diversidad productiva, tecnológica y de mercado, en todos los eslabones que la componen.

Desde el punto de vista de la relación comercial entre los dos primeros eslabones, la industria láctea paga a los tambos según el volumen entregado de leche y de su calidad, esta última compuesta por múltiples factores donde se destaca principalmente la carga microbiológica.

A pesar de la mejora en los niveles de productividad en los tambos argentinos, aún persiste una brecha productiva, basada principalmente en tecnologías de procesos, que afectan la competitividad y sostenibilidad de las empresas lecheras y pone de manifiesto la baja productividad por unidad de superficie, eficiencia de la mano de obra, competencia y complementación con la agricultura, escasa adaptación de los biotipos lecheros a los diferentes sistemas y regiones, necesidad de capacitación de recursos humanos involucrados en la producción de leche, riesgo ambiental por incremento de la carga animal, entre otros [2]. Otros factores que afectan el volumen producido son la alimentación y la reproducción.

Actualmente, los tambos producen y comercializan leche cumpliendo con los requisitos exigidos y controlados por la industria. Hay determinadas variables que afectan la calidad de la leche y que influyen en el precio de venta: células somáticas, bacterias, crioscopía, inhibidores, brucelosis, tuberculosis, temperatura y volumen.

Hoy en día, en la mayoría de los tambos pequeños no se cuenta con dispositivos que permitan detectar en forma temprana y de manera individual posibilidades de existencia de, por ejemplo, los niveles de células somáticas, variable que se puede monitorear para detectar de forma anticipada posibles mastitis. En general, los análisis que se realizan son a nivel de lote; esto es, del conjunto de todas las vacas. En el caso de células somáticas, por ejemplo, si supera los 400 (miles/ml), el producto se penaliza desde la industria.

A partir de lo mencionado, se reconoce que la mejora de la calidad de la leche tiene un impacto directo en la rentabilidad del negocio, lo cual requiere establecer acciones que marquen líneas a seguir para trabajar desde distintas aristas en este tema.

Por otro lado, en la mayoría de los pequeños tambos, y en cuanto al proceso productivo, no se cuenta con procedimientos definidos y formalizados que permitan trabajar sobre la base de un proceso de mejora continua. Por ejemplo, el volumen de producción y rendimiento por vaca se calcula como un promedio global, no se tienen asociadas dichas variables a cada animal de forma individual.

A partir de esto, se plantea que, sobre la base de una “visión de cambio” en los tambos, se tiene que pensar en la incorporación de tecnología, en la innovación de sus procesos y en otras herramientas que apunten a la mejora de la calidad de la leche, en la gestión del negocio y, por lo tanto, en la rentabilidad de las empresas.

Respecto de la calidad de la leche, por ejemplo, un aspecto básico es trabajar en la incorporación de tecnología que permita medir: producción, flujo, conductividad, sangre en leche, entre otras variables. Es necesario tener esta información de cada vaca, es decir, de manera individual, diaria y en línea.

Desde una visión general, la obtención de datos a partir de la incorporación de tecnología y las premisas de cambio que se deben abordar en estos establecimientos desde una perspectiva sistémica, requieren gestionar los tambos desde una visión de procesos, formalizada y asistida por la transformación digital.

2. DESARROLLO

Argentina enfrenta actualmente grandes brechas de adopción digital empresarial con respecto a países desarrollados y se observan menores niveles de uso de tecnologías digitales entre las empresas de menor tamaño. Existen una serie de obstáculos que limitan la adopción y puesta en valor de estas tecnologías en las empresas; algunos de estos pueden ser:

- Restricciones de conectividad.
- Escasez de talento con competencias digitales que limita la capacidad de las empresas tanto para absorber tecnologías digitales como para desarrollarlas.
- Limitaciones en el acceso a financiamiento, por la dificultad de financiar proyectos de transformación o innovación digital de alto riesgo e incertidumbre.
- Desconocimiento de los beneficios de las tecnologías digitales y, para aquellos que los conocen, falta de información sobre las tecnologías y proveedores disponibles.

Esta situación no abarca a una u otra empresa u organización, sino que atañe a la mayoría de los sectores. En particular, el tambo bajo estudio presenta, a priori, varios de estos impedimentos; por lo que se plantea en esta instancia comenzar a investigar sobre la brecha existente entre la situación actual de la empresa y lo requerido para ser una Industria 4.0. A partir de esto se decide usar una herramienta de diagnóstico que permita visualizar la base actual de la empresa, identificar el estadio donde se encuentra actualmente y por qué.

Para adoptar el concepto de Industria 4.0 en una organización, primero se debe conocer en qué estado se encuentra. Para ello, se realizó un chequeo digital, es decir, un testeo que permite medir el nivel de digitalización de la empresa con el fin de identificar sus fortalezas, debilidades y oportunidades antes de iniciar un proceso de transformación tecnológica. Se trabajó con la Plataforma denominada CHEQUEO DIGITAL [3]. Es una herramienta desarrollada por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), adecuada a la realidad y características del mercado argentino por equipos de la UNL (Universidad Nacional del Litoral).

El diagnóstico se realiza en función de 8 dimensiones, a partir de las que se desarrollan preguntas respecto de la organización bajo análisis.



Figura 1: 8 Dimensiones del chequeo digital.

Luego de responder el test, la empresa recibe un reporte completo del estado de adopción de tecnologías y habilidades digitales que posee. El diagnóstico es general, dando como resultado uno de los siguientes estados; inicial, novato, competente o avanzado, y también un reporte por cada eje. Según el nivel general alcanzado, la empresa analizada se puede encontrar en una de las categorías que se muestran en la Figura 2.



Figura 2: Nivel de madurez digital según sus dimensiones.

Este informe se centra en las 8 dimensiones que se abordan para analizar la madurez digital. Presenta recomendaciones personalizadas para aumentar el nivel de madurez y mejorar las habilidades digitales. Asimismo, se recibe un registro que permitirá luego, comparar resultados al repetir el testeo transcurrido un determinado período. A partir de los resultados de cada chequeo se puede comparar la evolución y el grado de avance.

A continuación, se detallan las 8 dimensiones sobre las cuales se basa el análisis de la madurez digital, y el detalle del resultado para el tambo bajo estudio.

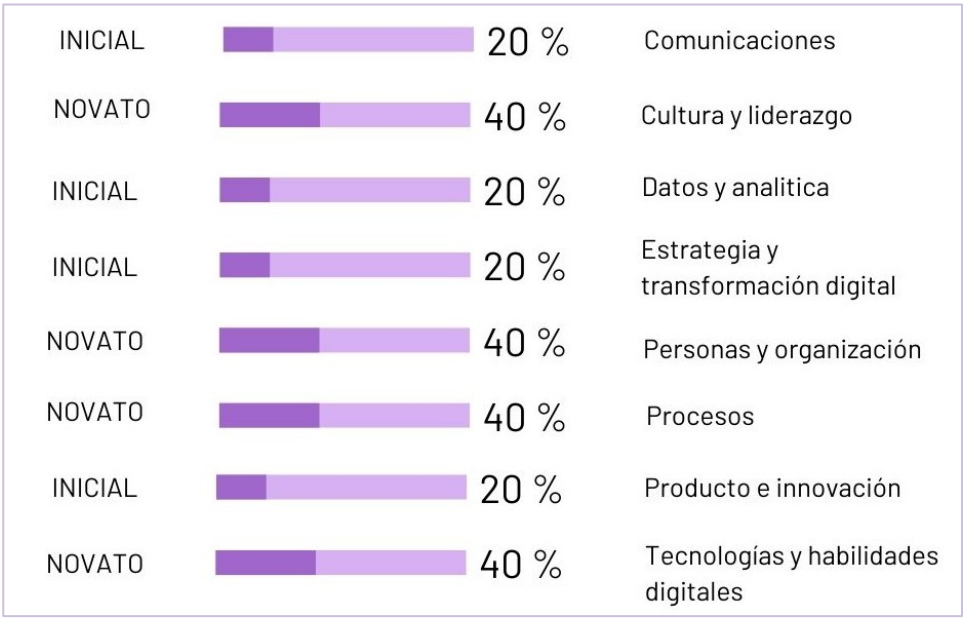


Figura 3: Resultados del nivel de madurez digital del tambo en análisis.

Se presenta a continuación, un análisis del nivel en el que se encuentra el tambo para cada una de las dimensiones consideradas en el chequeo digital. Se tomó como base el resultado arrojado y a partir de eso se analizan los factores que hacen que la empresa se encuentre entre los niveles INICAL y NOVATO respectivamente.

2.1. Comunicaciones

El resultado de esta dimensión es INICIAL.

Este determina que la comunicación que se realiza con los clientes se desarrolla sin la ayuda de las tecnologías digitales, por lo que no se interactúa con ellos para resolver problemas ni expresar opiniones. Es fundamental que se busquen las instancias necesarias para generar canales de comunicación con los clientes y así mejorar la oferta de productos o servicios actual. Pero, no solo con el objetivo de aumentar la rentabilidad, sino con el deseo de establecer un vínculo con aquellos clientes potenciales que ayuden a captar nuevos dentro del mercado.
Las tecnologías digitales implican nuevos canales de comunicación con los clientes y participar de sus decisiones de compra, a través de la generación de una oferta especializada a sus gustos y necesidades. La utilización de canales digitales de comunicación es fundamental, ya que permiten

relacionarse directamente con los clientes, responder sus inquietudes y ofrecer los servicios y productos en base a sus requerimientos.
Se debe tener en cuenta que no todos los clientes prefieren el mismo canal de comunicación. Ofrecer opciones como correo electrónico, chats, redes sociales y llamadas telefónicas y, además, asegurar que todos los empleados que interactúan con los clientes estén capacitados en habilidades de comunicación y resolución de problemas.

2.2. Cultura y Liderazgo

El resultado de esta dimensión es NOVATO.
El mismo establece que se está iniciando la implementación de las tecnologías digitales en el quehacer diario. La persona que lidera la pyme, como los trabajadores de esta, deben estar dispuestos a la aplicación de tecnologías en sus interacciones cotidianas. Por lo tanto, se considera necesario que la organización sufra un cambio de su cultura organizacional, afrontando el desafío de ensamblar sus valores y normas a las nuevas tecnologías digitales, con el fin de modificar sus tareas diarias y las formas de llevarlas adelantes. La cultura es de suma importancia, ya que es lo que diferencia a las organizaciones y puede generar una gran ventaja competitiva, si se desarrolla de manera eficaz.
Los líderes de la industria deben ser capaces de identificar las oportunidades que se presentan y saber rediseñar la organización, transformando la estructura y cultura con el fin de mejorar la capacidad de responder al ambiente cambiante que la rodea.
Los integrantes de la organización deben estar dispuestos a aprender y a transferir conocimientos, así como modificar su comportamiento.

2.3. Datos y Analítica

El resultado de esta dimensión es INICIAL.

Hoy en día en el tambo se registran datos de distintos procesos y en formatos, aplicaciones y/o sistemas diferentes. A continuación, se mencionan cada uno de los puntos identificados:

1. Tres grupos de WhatsApp en los que se comparten los siguientes datos:

    1.1 Mastitis:
        1.1.1. Caravana
        1.1.2. Fecha
        1.1.3. Cuarto afectado
        1.1.4. Tratamiento.

    1.2 Partos:
        1.2.1 Caravana
        1.2.2 Sexo
        1.2.3 Tipo (normal / asistido)
        1.2.4 Fecha

    1.3 Litros de leche:
    Litros diarios de leche. Fuente: ticket del conductor del transporte que retira la leche del tambo.

2. Sistema de Gestión Veterinario: en esta aplicación se registran todas las vacunas, tratamientos y análisis, y distintas intervenciones realizadas a las lecheras.
3. Control Lechero Esperanza: corresponde a un proceso formal, se realiza 1 vez al mes, vaca por vaca y se evalúan las siguientes variables:
    3.1 Producción.
    3.2 Células Somáticas.
    3.3 Proteínas.
    3.4 Grasa.
4. Sistema administrativo: se gestionan los procesos contables, financieros, administrativos y de recursos humanos.
5. Planillas de cálculo: se realizan diferentes análisis del negocio, trabajando con tableros de producción y económicos en planillas de cálculo, tomando datos de distintas fuentes internas y externas a la empresa.

Teniendo como base las distintas formas, sistemas y/o aplicaciones utilizadas por la empresa, se evidencia que esto coincide con el resultado arrojado por el chequeo digital para esta dimensión. Existen diferentes fuentes de datos, registros y formas de uso no integradas; esto lleva a una forma de trabajo artesanal y basada en lo que se pudo incursionar, no gestionado a partir de un proceso metodológico estandarizado.
También, se repite la carga de un mismo dato en diferentes aplicaciones, planillas o sistemas, no se integran las diferentes bases de datos que permitan revisar, analizar y controlar información de producción y/o administrativa de forma ágil y en un tiempo que permita ejecutar acciones eficientes, entre otros puntos.
De la revisión de las herramientas usadas, de las formas de registro de datos y de cómo se gestiona la información, se desprende que la pyme aún no considera utilizar tecnologías digitales para obtener información sobre la gestión desarrollada dentro del negocio, desconoce los elementos fuertes y los que debe mejorar.

2.4. Estrategia y Transformación Digital

El resultado de esta dimensión es INICIAL.

A partir de esto, tomando como base la situación actual de la Empresa y, su definición de “cambio” para el tambo incorporando tecnología e innovando en sus procesos, hoy en día se tiene como horizonte trabajar particularmente en, a) la mejora de la calidad de la leche y b) el fortalecimiento de la gestión del negocio a partir de un plan de transformación digital.
Respecto de la forma de gestión del proceso productivo, actualmente se trabaja con un modelo mixto entre pastoril y estabulado. La alimentación de las lecheras consiste en pasturas frescas, fardos y granos.
En cuanto a la calidad de la leche, es clave incorporar tecnología al proceso de ordeño, lo cual permitirá medir producción, flujo, conductividad, sangre en leche, entre otras variables.
Por otro lado, la generación de datos a partir de la incorporación de tecnología y las premisas de cambio que se tienen para el establecimiento desde una perspectiva sistémica, se requiere gestionar el tambo desde una visión de procesos, formalizada y asistida por la transformación digital.
“La transformación digital es la integración de la tecnología digital en todas las áreas de un negocio, que cambia fundamentalmente su forma de operar y de entregar valor a los clientes. También es un cambio cultural que requiere que las organizaciones desafíen continuamente el statu quo, experimenten y se sientan cómodos con el fracaso” [4].
La empresa apuesta a la mejora de la calidad de la leche, trabajando en la adecuación de los procesos de forma paulatina y en la búsqueda de la excelencia de su producto entregado a la industria.
Es muy importante buscar e incorporar tecnologías digitales que puedan ser de utilidad para las características de la pyme. Ello permitirá generar una hoja de ruta para trabajar en aumentar la madurez digital.

2.5. Personas y Organización

El resultado de esta dimensión es NOVATO.

Los medios digitales con los que cuentan las personas que realizan las tareas en este tipo de establecimiento, no son de las más diversas. Es decir, como herramienta de soporte a sus tareas y, por requerimientos externo, utilizan el celular para la devolución de información y datos concretos sobre la jornada de trabajo. Estos datos son suministrados a los profesionales de la salud y alimentación para respaldar decisiones que luego afectarán la calidad de la producción, los cuales son insumos requeridos por plataformas de control propias a la actividad.
En este sentido, deben considerarse las eventualidades respecto al acceso a internet que pueden tener en zonas rurales.
Esta dimensión comprende el uso de tecnologías digitales e implica cambios en las tareas diarias de la organización y en la forma en que se relacionan los trabajadores. Es decir, aborda la forma en que los trabajadores adoptan el uso de tecnologías digitales en su cotidianeidad.
En un nivel novato, las personas que son parte de la pyme mantienen una forma de trabajo donde el uso de tecnologías digitales permite comunicarse y coordinarse entre ellos. Para avanzar en el proceso,

se deben diversificar las formas en que se comunican y coordinan los trabajadores, a través del medio digital que más se adecúe a las características de la organización.
Por otro lado, se debe fomentar procesos de capacitación acerca de las competencias necesarias para abordar estas tecnologías digitales en las actividades diarias, y cómo sacarle provecho.
Es un punto que evidencia una necesidad de desarrollo, ya que favorecerá la disposición de los trabajadores para con la mejora en la calidad de los procesos.

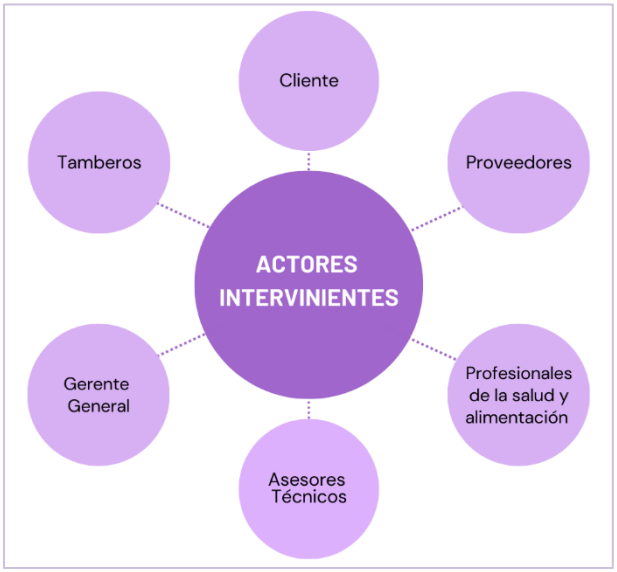


Figura 4: Actores intervinientes en el tambo de análisis.

2.6. Procesos

El resultado de esta dimensión es NOVATO.

La adopción de los métodos que propone la industria 4.0, no solo están dirigidos a la compra de tecnología, sino también a facilitar una transformación organizacional enfocada en la formación de capacidades u oportunidades para poner en valor las tecnologías, la actualización de procesos internos para poder adoptar estas herramientas digitales, y en apoyar el cambio de modelo de negocio, aprovechando las nuevas posibilidades que se abren con el uso de estas tecnologías.
Esta dimensión evalúa el grado en que se están aplicando las tecnologías digitales para optimizar los diferencias aspectos de la pyme. Mediante estas aplicaciones es posible actualizar las formas en que se generan los productos o servicios.
En un nivel novato como el obtenido, la organización ha comenzado a considerar la utilización de las tecnologías digitales, lo que contribuye a hacer más efectiva y eficiente la pyme.
La recomendación para avanzar en este ítem es que se considere la masificación de la utilización de tecnologías digitales en la planificación de los proyectos y/o desarrollo de los trabajos.
En estas industrias, la adopción de las tecnologías 4.0 se debe principalmente a las crecientes regulaciones en materia ambiental y de calidad y sanidad de los productos alimentarios, y a las estrategias de diferenciación de productos de las empresas que desean brindar productos para mercados que demandan alimentos saludables y seguros.
Para cumplir con los requisitos y abordar estos temas, en principio la organización debe tener un control estricto sobre todos los procesos vinculados a la industria, desde su etapa primaria hasta el consumidor.
Se cree que es una gran oportunidad la adopción de estas tecnologías, promoviendo la gestión sistémica de procesos y etapas, para un mayor control a lo largo de la cadena de valor, el aumento de la eficiencia en las etapas productivas, logísticas y comerciales, y generación de mayores ganancias.
El aumento de la productividad es una consecuencia natural de la optimización de los procesos, la automatización y la inteligencia aplicada a cada tarea a realizar.

2.7. Productos e Innovación

El resultado de esta dimensión es INICIAL.

En particular, en este caso el producto es leche cruda de vaca, obtenida a partir de un proceso agropecuario en el eslabón primario de la cadena de valor del sector lácteo.
La producción de leche se entrega diariamente a la industria láctea. Desde el establecimiento tambero la leche es trasladada a la planta industrial por terceros, o por medio de transportes del cliente.
En promedio, se producen y entregan 200.000 litros de leche por mes. Se tiene como objetivo mejorar la eficiencia de producción para alcanzar un resultado en el rango de los 33 a 35 litros por vaca.
Aunque el tambo hoy no cuenta con instrumentos concretos que representen un foco desde un eje innovador, la transversalidad de la innovación y sus posibilidades de aplicación a todos los eslabones del sector estudiado, son una oportunidad para escalar en la mejora de la calidad de la leche y de la eficiencia de producción, y para diferenciarse de los competidores.

2.8. Tecnologías y Habilidades Digitales

El resultado de esta dimensión es NOVATO.

En los últimos dos años la empresa incorporó tecnología al proceso administrativo, a la gestión de la salud de las lecheras y a la comunicación diaria con el equipo de tamberos mediante teléfonos celulares. En particular, la creación de grupos de WhatsApp entre los niveles gerenciales, tamberos, asistentes técnicos y profesionales asesores mejoró los tiempos de puesta en común de determinadas situaciones, el control de actividades diarias, el reporte de problemas en forma inmediata y la posibilidad de mantener comunicados a todo el personal de los procesos en los cuales trabajan.
Si bien esta realidad de los grupos de WhatsApp pone de manifiesto una mejora en la gestión del tambo, también es cierto que se deben generar circuitos y formas de registro de datos y validación de procesos incorporando tecnología y métodos que permitan comenzar a transitar el camino a la transformación digital.

3. CONCLUSIONES

En primer lugar, es importante tener presente que lo compartido en este trabajo corresponde a un nivel de avance inicial y a un resultado parcial del PID. El proyecto comenzó en marzo de este año, por lo que se está transitando los primeros meses de su ejecución.
En cuanto a lo desarrollado y analizado en esta publicación y a partir de la revisión de cada una de las dimensiones del chequeo digital, se considera que se tienen dos grandes perspectivas a trabajar, estas son:

- Identificación y descripción de las variables, factores u otros condicionantes, por dimensión, que hacen que la empresa se encuentre entre los niveles INICIAL y NOVATO.
- Diseño de propuestas, para cada dimensión, que permitan contribuir al proceso de desarrollo e implementación de un plan de transformación digital.

Luego, tomando como referencia la Industria 5.0 y su relación con la 4.0 se planea a partir de este trabajo continuar profundizando la investigación y aplicación de resultados para aplicar estos conceptos a la empresa bajo estudio.
En este sentido, un primer interrogante que se plantea es, ¿cómo se relacionan la Industria 4.0 con la Industria 5.0?
Las iniciativas 4.0 y 5.0 ocurren al mismo tiempo. Conceptualmente, no son contenidos opuestos ni con características generacionales. Se trata de una inmersión entre ellos. Este proceso lleva a las industrias a experimentar todo el potencial humano de su equipo, e implica un crecimiento en conjunto con todos los trabajadores.

Según lo investigado a la fecha en el PID de referencia, la incorporación de Tecnología 4.0 representa grandes posibilidades de mejora para el tambo. En particular y respecto del proceso productivo, comenzar a trabajar, por ejemplo, con restiradores automáticos, con equipos de medición de variables en la leche, automatismos en los espacios de circulación en el tambo, entre otros, tendrán un impacto positivo en la calidad de la leche, en la mejora de los procesos y, por lo tanto, en las condiciones de operación del tambo, en el cuidado de los animales y en las prácticas operativas.
Es decir, la implementación de tecnología requiere como mínimo ordenar y estandarizar procesos; esto implica un efecto positivo en las formas en que los tamberos lleven adelante sus tareas; con menos

esfuerzo, en entornos más limpios y ordenados. Todo esto pone de manifiesto la relación entre la I4.0 y la I5.0. La mejora de la calidad de vida de las personas fortaleciendo puestos de trabajo para todos los niveles de una empresa, desde los operativos hasta los gerenciales, representa un factor clave de éxito en la búsqueda de la eficiencia de producción e incremento de la rentabilidad.

4. REFERENCIAS

[1] Secretaría de Planificación del Desarrollo y la Competitividad Federal AÑO 7 - N° 65 - diciembre 2022. ISSN 2525-0221. (2022) “Informe de cadena de valor lácteo”

[2] Mancuso, W. y Terán, J. C. (2008). “El sector lácteo argentino”. XXI Curso internacional de lechería para profesionales de América Latina, 13-26.

[3] “Chequeo digital”. Disponible en: www.unl.edu.ar/chequeodigital

[4] Dr. Oscar Rete (2020) – Gestión de Proyectos de Transformación Digital – 1.

[5] Cepal. INDUSTRIA 4.0 Oportunidades y desafíos para el desarrollo productivo de la provincia de Santa Fe). Apartado V. “El complejo lácteo santafesino, heterogeneidad en la adopción de las nuevas tecnologías asociadas a la Industria 4.0”.

[6] Bartodziej, C.J., (2017). “The Concept Industry 4.0”. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden.

[7] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Presidencia de la Nación. (2019) “Estado de situación de la industria láctea Argentina para la definición de políticas públicas 2016-2018”.

[8] Suaznabar, C., Henriquez, P., (2021) “Transformación Digital Empresarial: ¿Cómo nivelar la cancha?” Disponible en: https://www.unl.edu.ar/vinculacion/wp-content/uploads/sites/10/2020/09/Transformaci%C3%B3n-Digital-Empresarial.pdf

[9] (2021) “Industria 5.0: ¿Qué hay de nuevo y cuáles son sus impactos?”**.** Disponible en: https://es.totvs.com/blog/industria-4-0/industria-5-0-que-hay-de-nuevo-cuales-son-sus-impactos/

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer a todo el equipo del PID y a la Gerencia del tambo, en el que se realizan actividades específicas de este proyecto.

"ESTUDIO DE INTEGRIDAD ESTRUCTURAL DE RECIPIENTES PARA EL ALMACENAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES QUEMADOS"

Caballero, Diego [1,2]; Vela, Julian Edgardo [2]; Hannemann, Ricardo Eugenio [2]; Baldacchino, Pablo Gastón [2]; Ruiz, Tamara Antonella [2]

1 - Departamento de Planificación Estratégica y Calidad, Gerencia Programa Nacional de Gestión de Residuos Radiactivos, Gerencia de Área Seguridad Nuclear y Ambiente, Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), Av. Libertador 8250, Buenos Aires, Argentina.
2 - Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad Regional Avellaneda, Universidad Tecnológica Nacional, Av. Ramón Franco 5050 (B1874ABY) Villa Domínico, Buenos Aires, Argentina.
diegohernancaballero@cnea.gob.ar

RESUMEN

Análisis, modelado y rediseño del núcleo de fundición nodular de los recipientes (canisters) utilizados para disponer los elementos combustibles nucleares quemados mediante simulación 3D por método de elementos finitos en CATIA V5, partiendo de situaciones de carga definidas por SKB para diferentes potenciales escenarios de solicitación mecánica en su emplazamiento de disposición final, buscando maximizar la capacidad de almacenamiento sin comprometer su resistencia estructural. Se espera experimentar distintas configuraciones espaciales de almacenamiento de elementos combustibles en los núcleos de los canisters y su respuesta ante diferentes situaciones de esfuerzo a las que podrían estar expuestos.

Palabras Claves: elemento combustible gastado, recipiente, elementos finitos, repositorio geológico, disposición.

ABSTRACT

Analysis, modeling and redesign of the nodular cast iron core of the canisters used to arrange the nuclear spent fuel elements through 3D simulation using the finite element method in CATIA V5, based on load situations defined by SKB for different potential mechanical stress scenarios at its final disposal location, seeking to maximize storage capacity without compromising its structural resistance. It is expected to experiment with different spatial configurations of fuel element storage in the cores of the canisters and their response to different stress situations to which they could be exposed.

Keywords: Spent nuclear fuel, canister, finite elements, geological repository, disposal.

1. INTRODUCCIÓN

A pesar de la reducción del volumen de residuos radiactivos y su radiotoxicidad con las técnicas de reprocesamiento actuales o futuras, la etapa final del "back-end" del ciclo del combustible nuclear es inevitable. Este último paso es la disposición final de los residuos, ya sean elementos combustibles (EECC) gastados sin tratar o residuos de alto nivel vitrificados provenientes del reprocesamiento. Para ello, la solución internacionalmente consensuada y aceptada para la gestión final del combustible usado de las centrales nucleares junto con otros residuos de nivel medio y alto es el emplazamiento subterráneo en un repositorio o almacén geológico profundo (AGP). El concepto básico consiste en colocar los materiales radiactivos en formaciones geológicas estables (granito, arcilla, sal) a profundidades entre 500 y 1.000 m.

Existen diferentes tipos de AGP según el tipo de roca huésped, que se están estudiando en todo el mundo: formaciones de rocas duras, como el granito (Canadá, Finlandia, España, Suecia, etc.); formaciones arcillosas, como la arcilla (Bélgica, Francia, Países Bajos, etc.); formaciones de sal (Alemania y los Países Bajos), y; formaciones volcánicas, como la toba (Yucca Mountain, EE. UU.). Además, hay varios tipos principales de configuraciones de AGP: en galerías, donde los residuos se colocan en perforaciones horizontales o verticales en galerías secundarias desde una galería principal, y en perforaciones de pozos profundos desde la superficie.

Para su disposición en un AGP, los residuos de alto nivel y/o los elementos combustibles gastados deben ser encapsulados. Estas cápsulas, denominadas "canisters", son un recipiente hermético que consta de una estructura interna de fundición nodular para el soporte de carga, con canales de acero inoxidable embebidos para alojar el combustible gastado, y una cubierta exterior de cobre libre de oxígeno, reguladora del proceso de corrosión.

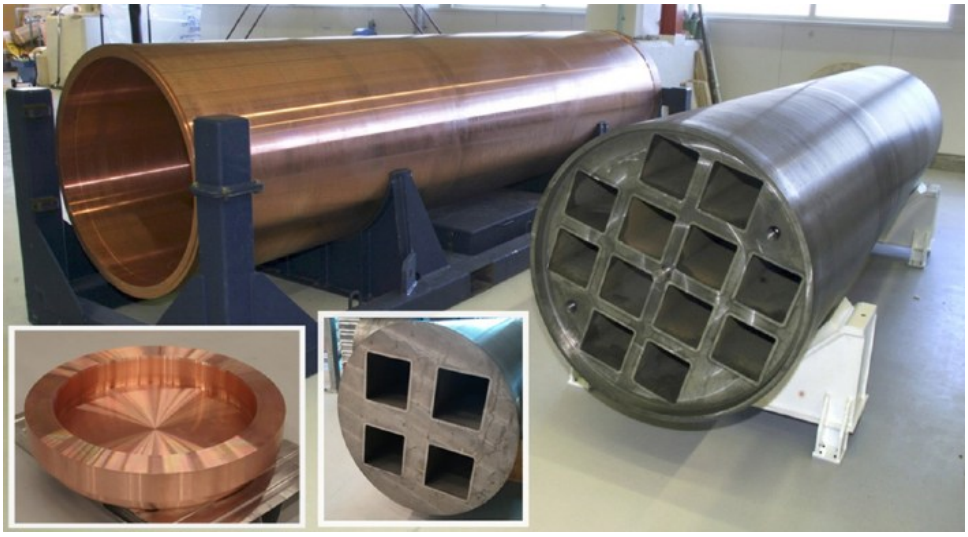


Figura1. Componentes del canister utilizado en el sistema KBS-3

2. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS Y SOLICITACIONES A SIMULAR

Las dimensiones de las cápsulas y de sus componentes se diseñan para un tipo determinado de repositorio y de roca huésped. Por ejemplo, el modelo de canister para el sistema KBS-3 de POSIVA en galerías mide 5.223 mm de largo por 1.050 mm de diámetro exterior, con un espesor de 49 mm de cobre[1]. POSIVA ha dimensionado las capacidades de estos canisters en forma conservadora, incorporando no más de 12 elementos combustibles por unidad. Esta premisa de diseño puede ser optimizada para mejorar la capacidad de carga del canister y de este modo disminuir el costo marginal de gestión por elemento combustible quemado a disponer.

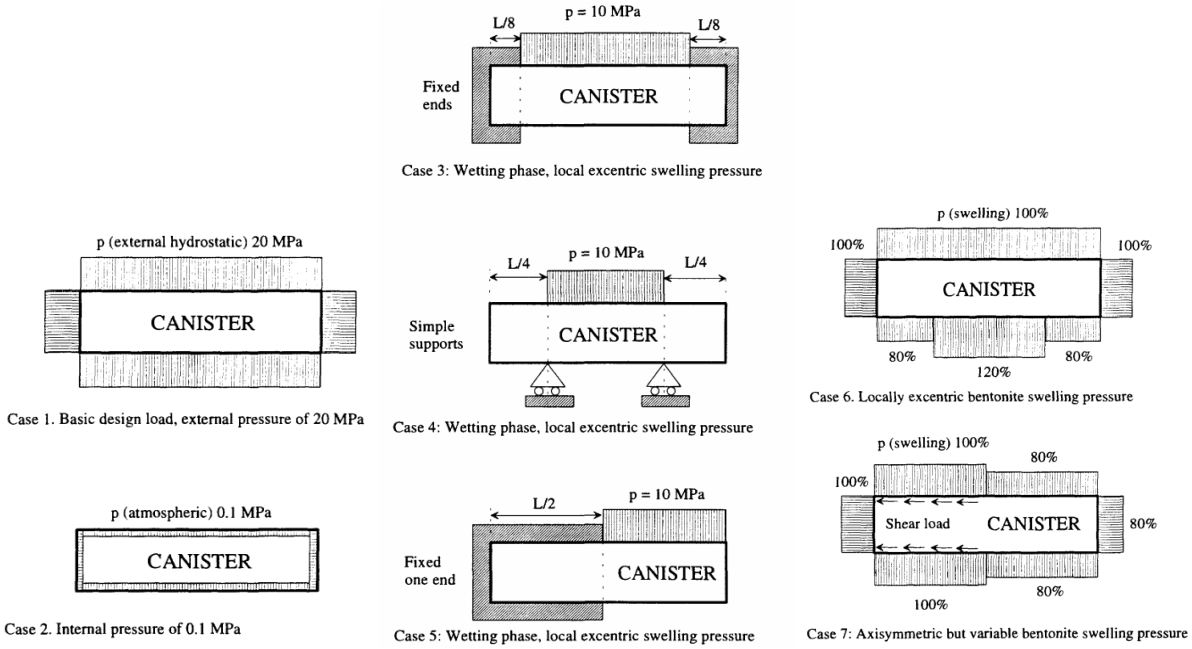


Figura 2. Condiciones de carga (POSIVA)

Las cargas mecánicas que el recipiente debe soportar incluyen las cargas de presión externas desiguales debido a la expansión del tapón de material de relleno, la carga de presión exterior isostática (estimadas en el orden de 44 MPa[2]) de futuras glaciaciones y la carga de corte proveniente de una falla en la roca por un posible terremoto.

Además, el material de soporte debe evitar que el material físil pueda alcanzar la criticidad, lo que influirá en geometría de la estructura de acero definiendo la distancia entre los canales. No se tomaron en cuenta los efectos térmicos para el cálculo de las cantidades a alojar en cada cápsula, considerando que dada la extensión temporal de un proyecto de construcción, emplazamiento y cierre de un repositorio, no se dispondrán combustibles quemados con menos de 100 años de enfriamiento.

Silva[3] (2016) ha determinado las condiciones de criticidad para el almacenamiento interino en seco en las centrales nucleares de EECC de tipo Atucha I, en condiciones geométricamente muy similares a las del *canister* propuesto por el modelo KBS-3, proponiendo una distribución espacial en círculos concéntricos de 37 EECC que fue verificada como subcrítica mediante su modelado con herramientas informáticas de cálculo (código MCNP) tanto en condiciones normales como en condiciones de accidente, para combustibles frescos (sin quemado). Desde el punto de vista neutrónico esto supone un caso más reactivo, con mayor cantidad de material físil que en el caso real de EECC quemados, lo que asegura un cálculo conservativo.

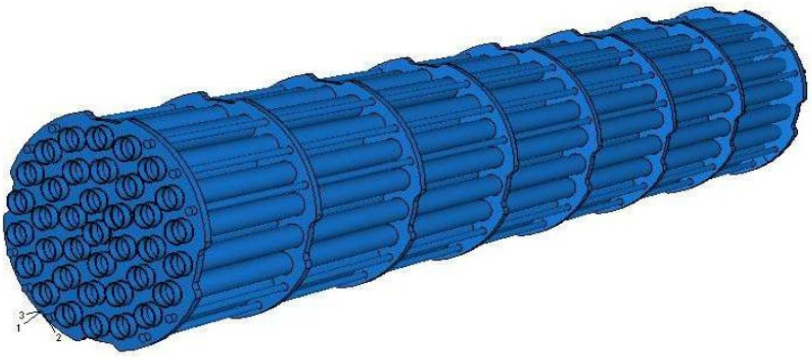


Figura 3. Distribución espacial de los EECC quemados

3. SIMULACIÓN

Se utilizó CATIA V5 para evaluar diferentes configuraciones espaciales, destacándose el modelo de 37 canales circulares por su alta densidad de almacenamiento. Se utilizó como material constructivo la

fundición nodular GRP-400 (Norma SFS-2113 – Finlandia) o su equivalente GGG-40 (Norma DIN 1693/73 – Alemania), con una tensión admisible de diseño 240 MPa (a 120 °C), una tensión de rotura de 400 MPa y una elongación de fractura del 1,5% (Densidad: 7200 kg/m^3, Módulo de Young: 170 GPa, Coeficiente de Poisson: 0,28).

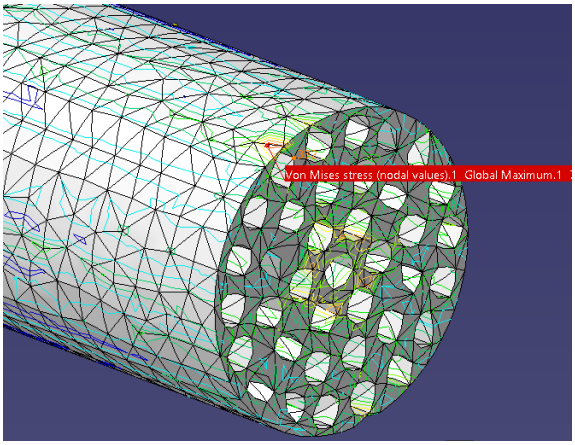


Figura 4. Modelado por elementos finitos de las tensiones en la estructura de fundición GRP400 del canister en CATIA V5

4. CONCLUSIONES

Este proyecto se realizó sobre la base del ensayo y prueba, partiendo esencialmente de simulaciones de situaciones definidas previamente para los recipientes contenedores (canisters) expuestos a diferentes potenciales situaciones, una vez que se encuentren en su emplazamiento final. Para la determinación de las características mecánicas del canister se utilizó el software CATIA V5 para el modelado en 3D mediante el método de los elementos finitos (MEF).

Se simuló la condición de carga básica isostática y se obtuvieron valores de tensión máxima de 58,23 MPa y un desplazamiento máximo obtenido de 1,59 mm, ambos valores por debajo de los límites admisibles para la fundición nodular.

Preliminarmente se ha obtenido una configuración espacial que triplica la capacidad de almacenamiento del modelo adoptado por POSIVA, si bien aún deben modelarse las demás condiciones complementarias de solicitación.

4. REFERENCIAS

[1] H. Raiko, J.-P. Salo (1996). Design report of the canister for nuclear fuel disposal. Report POSIVA-96-13. Posiva Oy, Helsinki. ISSN 1239-3096.

[2] K.-F. Nilsson, P. Dillstroem, C.-G. Andersson, F. Nilsson, M. Andersson, P. Minnebo, L.-E.Björkegren, B. Erixon (2008). A Probabilistic Methodology to Determine Failure Probabilities and Acceptance Criteria for the KBS-3 Inserts Under Ice-Age Load Conditions. Nuclear Technology. 163. 3-14. 10.13182/NT08-A3964

[3] M. Silva (2006). Cálculos de criticidad y blindaje para un sistema de almacenamiento interino en seco para los combustibles gastados de la central nuclear Atucha I. Proyecto integrador de la carrera de ingeniería nuclear. Instituto Balseiro. Universidad Nacional de Cuyo, Comisión Nacional de Energía Atómica. San Carlos de Bariloche.

CoINI 2024
UTN·La Plata
XVII CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y AFINES

F – Educación en la Ingeniería Industrial

"EXPLORANDO EL ROL DE LA INVESTIGACIÓN OPERATIVA EN LOS DESAFÍOS SOCIOAMBIENTALES"

Gómez, Daniela; Mori, Carlina; Toscano, Julieta

Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura – Universidad Nacional de Rosario
danielag@fceia.unr.edu.ar; cmori@fceia.unr.edu.ar; jtoscano@fceia.unr.edu.ar

RESUMEN

En la asignatura de Investigación Operativa I de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario, los trabajos prácticos grupales han integrado conceptos teóricos con situaciones reales a través de metodologías didácticas adaptadas. Este enfoque busca no solo fortalecer la formación técnica de los estudiantes, sino también fomentar la ética, la responsabilidad social y la sostenibilidad ambiental. Los proyectos de los años 2020 a 2023, que incluyen la planificación de hospitales modulares, planes de contingencia para incendios, la instalación de colectores solares y el diseño de redes eléctricas, se basan en temas de relevancia actual y social. Estas actividades están alineadas con el enfoque CTSA (Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente), promoviendo una visión integral del ejercicio profesional. Las encuestas y comentarios de los estudiantes han mostrado una alta satisfacción con este enfoque, destacando la relevancia de abordar problemas socioambientales y la capacidad de aplicar herramientas teóricas a situaciones concretas.

Palabras Claves: Ingeniería industrial. Investigación operativa. Problemáticas socioambientales. Herramientas cuantitativas. Enfoque CTSA.

ABSTRACT

In the subject of Operational Research I of the Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura of the Universidad Nacional de Rosario, practical group work has integrated theoretical concepts with real situations through adapted didactic methodologies. This approach seeks not only to strengthen the technical training of students, but also to promote ethics, social responsibility and environmental sustainability. The projects from 2020 to 2023, which include the planning of modular hospitals, fire contingency plans, the installation of solar collectors and the design of electrical networks, are based on topics of current and social relevance. These activities are aligned with the CTSA (Science, Technology, Society and Environment) approach, promoting a comprehensive vision of professional practice. Student surveys and comments have shown high satisfaction with this approach, highlighting the relevance of addressing socio-environmental problems and the ability to apply theoretical tools to concrete situations.

Keywords: Industrial engineering. Operational research. Socio-environmental problems. Quantitative tools. CTSA approach.

1. INTRODUCCIÓN

La realización de trabajos prácticos grupales en la asignatura de Investigación Operativa I en la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional de Rosario se centra en la aplicación de conceptos teóricos a situaciones reales a través de adaptaciones didácticas. De esta manera, con la selección de diferentes temáticas es posible promover un aprendizaje significativo que permita relacionar los conocimientos desarrollados en la clase con problemáticas del entorno. En este contexto, es crucial implementar metodologías que reconozcan la capacidad de los estudiantes para integrar y aplicar sus conocimientos en situaciones concretas, con el objetivo de alcanzar una formación integral que vaya más allá de lo puramente académico, preparándose para sus futuras carreras profesionales.

En este trabajo, se describen las vinculaciones realizadas por la cátedra de Investigación Operativa I entre los temas que se dictan en la materia con aplicaciones que involucran situaciones reales que fueron transversales a la vida de estudiantes y docentes en estos últimos años.

En este sentido, los trabajos prácticos grupales conforman una propuesta didáctica orientada al desarrollo de competencias específicas de egreso de la carrera de ingeniería industrial, particularmente las que se mencionan a continuación (ME, 2021):

> *Dirección, gestión, optimización, control y mantenimiento de las operaciones, procesos e instalaciones requeridas para la producción, distribución y comercialización de productos (bienes y servicios).*
>
> *Gestión y control del impacto ambiental de las operaciones, procesos e instalaciones requeridas para la producción, distribución y comercialización de productos (bienes y servicios).*
>
> *Desempeñarse de manera efectiva en equipos de trabajo y actuar con ética, responsabilidad profesional y compromiso social, considerando el impacto económico, social y ambiental de su actividad en el contexto local y global.*

Al mismo tiempo, las propuestas didácticas fueron diseñadas con una base metodológica en el enfoque enseñanza CTSA, por sus siglas Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente, el cuál remite una relevancia fundamental en el desarrollo de competencias que integren una visión más amplia del ejercicio profesional y que puedan vincular a las y los estudiantes con las necesidades de la sociedad y el medio ambiente. Desde esta perspectiva, se busca proporcionar una visión más auténtica de la interacción social entre la ciencia y la tecnología y, al mismo tiempo, fomentar una conciencia crítica sobre los efectos sociales y ambientales generados por las tecnologías actuales y emergentes.

La posibilidad de discutir y compartir experiencias relacionadas con el mundo real en el aula enriquece el proceso de aprendizaje, ya que permite a las y los estudiantes aprender unos de otros, combinar sus diversas experiencias y enriquecer su formación profesional. Esta sinergia entre teoría y práctica es fundamental para preparar a los futuros ingenieros industriales, equipándose con las herramientas necesarias para enfrentar los desafíos del mundo actual.

Se presentan las aplicaciones desarrolladas en los trabajos prácticos grupales de los años 2020, 2021, 2022 y 2023, junto con las unidades temáticas asociadas y la forma de trabajo realizada. Cabe destacar que la construcción de los enunciados está directamente relacionada a hechos relevantes en cada año y a objetivos que orienten el análisis de situaciones más allá de casos concretos que puedan presentarse en el ámbito laboral, por lo que cada uno de los trabajos prácticos es acompañado por información adicional proveniente de fuentes de información que contextualizan el problema.

2. DESARROLLO

El enfoque CTSA fomenta una reflexión sistemática sobre los procesos educativos, generando una transformación en los roles de docentes y estudiantes dentro del aula. En este marco, se busca que los estudiantes comprendan los conocimientos matemáticos y estadísticos que se proponen desde la asignatura Investigación Operativa I no solo en cuanto a su estructura interna (teorías, conceptos, metodologías y resultados), sino también en relación con sus impactos sociales y ambientales.

González García, López Cerezo y López (1996, citado en Osorio, 2002) destacan el desarrollo de este enfoque en tres ámbitos: la investigación, las políticas de ciencia y tecnología, y la educación, tanto a nivel secundario como universitario. En este último, se plantea la formación de ciudadanos con una visión más amplia e integral de la ciencia y la tecnología. Particularmente en el ámbito educativo, este enfoque se presenta como una herramienta que ha dado lugar a propuestas didácticas orientadas a promover en los estudiantes la responsabilidad en la toma de decisiones como futuros ciudadanos.

Acevedo (1996, citado en Osorio, 2002) identifica varias de estas propuestas, entre las que se destacan un enfoque constructivista del aprendizaje, el tratamiento de problemas sociotécnicos relevantes para los estudiantes y su contextualización en entornos específicos. Además, se incorpora el análisis sociofilosófico, ético, político y económico en dichos problemas, promoviendo el desarrollo de habilidades necesarias para argumentar en torno a la toma de decisiones, y vinculando estas competencias con el entorno social en el que los estudiantes se desenvuelven.

Los trabajos prácticos de la asignatura se desarrollan de manera grupal a lo largo del semestre y están orientados a resolver casos de estudio basados en situaciones reales, con datos numéricos adaptados y contextualizados. El objetivo de estas actividades es que las y los estudiantes, como futuros profesionales, no solo analicen y optimicen una función objetivo, sino que también consideren el impacto de sus decisiones en el entorno y la sociedad, formulando propuestas con una visión integral.

El diseño de propuestas didácticas que contemplen situaciones reales subyace en el fortalecimiento de las y los estudiantes en competencias específicas, tecnológicas, sociales y actitudinales que puedan enfrentar los desafíos contemporáneos. Desde la cátedra de Investigación Operativa, la inclusión de nuevas aplicaciones orienta la enseñanza al desarrollo de una mayor sensibilidad crítica, que permita a las y los estudiantes cuestionar y evaluar el impacto de sus decisiones y acciones en la sociedad y el medio ambiente. De esta manera, se promueven habilidades como el pensamiento crítico, la colaboración y la resolución de problemas que son esenciales para su desarrollo profesional y personal.

La asignatura Investigación Operativa I desarrolla conocimientos teórico-prácticos que integran matemática, estadística e informática mediante el uso de herramientas como la programación lineal, programación entera mixta, teoría de grafos y programación dinámica. A lo largo del curso, se espera que los futuros ingenieros e ingenieras adquieran la habilidad de transformar problemas provenientes de sistemas reales, analizando las variables de decisión, las restricciones y las relaciones entre recursos y variables, para luego formular un modelo matemático que proporcione soluciones a objetivos específicos, como la maximización de utilidades o la minimización de costos.

Las unidades temáticas que se incluyeron en los trabajos prácticos grupales fueron Programación Lineal, Programación Entera Mixta y Teoría de Grafos.

La Programación Lineal estudia el problema de la optimización de programas lineales. Para ello, se define una función objetivo en la que se minimizan o maximizan los valores establecidos de variables previamente declaradas y que, a su vez, están sujetas a restricciones representadas como ecuaciones o inecuaciones lineales. La modelización y resolución de programas lineales se estudia a lo largo de toda la asignatura con la utilización de una guía de ejercicios prácticos transversales a los diferentes temas que se desarrollan. Es una técnica ampliamente utilizada para tomar decisiones relacionadas con la asignación eficiente de recursos limitados, como materiales, tiempo o mano de obra, en áreas como la planificación de la producción, la asignación de tareas, la distribución de productos y la optimización de inventarios. Por otro lado, la Programación Entera Mixta extiende la Programación Lineal al incorporar variables enteras, lo que permite representar decisiones indivisibles siendo útil en problemas de logística, diseño de redes de transporte y planificación de producción con restricciones de capacidad.

Otro de las unidades temáticas que se incluyó es la Teoría de Grafos que, por su parte, estudia las relaciones entre un conjunto de nodos y aristas, siendo clave para resolver problemas de redes como rutas de transporte o diseño de redes de distribución. En ingeniería industrial, esta herramienta permite mejorar la eficiencia en sistemas complejos como las cadenas de suministro o la planificación de procesos.

A lo largo de los años, los trabajos prácticos de la asignatura han conectado las herramientas y conocimientos adquiridos con situaciones reales de alto impacto social. En 2020, se trabajó en la creación de hospitales modulares para atender a pacientes con COVID-19, reflejando la urgencia de la pandemia. En 2021, el proyecto se enfocó en el diseño de un plan de contingencias frente a incendios en el delta del Río Paraná, considerando los desafíos ambientales de esa región. En 2022, se promovió el uso de energías limpias mediante el desarrollo de colectores solares térmicos para proveer agua caliente sanitaria en viviendas construidas por el Estado Nacional. Para 2023, las y los estudiantes abordaron el diseño de una red de distribución eléctrica a nivel provincial destinada a nuevos usuarios, con énfasis en la incidencia de los desarrollos urbanísticos. A continuación, se describe brevemente cómo se adaptó cada situación a la unidad temática correspondiente.

- Hospitales Modulares para pacientes con COVID-19

La concepción de este trabajo surgió a partir de la disposición nacional para la edificación de hospitales modulares de emergencia que buscaba aumentar la capacidad de ingreso de pacientes, luego de que el gobierno nacional decretó el aislamiento social preventivo obligatorio, con el fin de disminuir el número. de decesos causados por el virus y evitar la saturación del sistema de salud. Por lo tanto, se planteó a las y los estudiantes la necesidad de planificar mensualmente la dotación de 8 hospitales instalados en diferentes regiones del país. Se les propuso organizar al personal en 3 turnos diarios de 8 horas durante el mes de diciembre, con el objetivo de minimizar los costos y cumplir con una serie de requisitos mínimos para determinar la cantidad de personal médico, personal de enfermería, personal de limpieza, insumos básicos, equipamiento y elementos desechables para la protección personal. Por ejemplo, se establecen restricciones horarias en las jornadas laborales y se presentan exigencias de licitaciones.Para resolver este trabajo práctico se utilizó Modelización, Programación Lineal, Entera y Mixta.

- Plan de contingencias para incendios en el delta del Río Paraná

Este trabajo se fundamentó con la situación problemática que atravesó el Delta del Río Paraná durante su bajante histórica originada con anterioridad al año 2020 y las escasas lluvias en la región. En estas circunstancias el territorio quedó más expuesto que nunca a las intervenciones humanas y entre ellas a los incendios intencionales. Ante esta situación, surgió la necesidad de establecer un plan de contingencias que permita brindar una respuesta rápida ante la detección de focos de incendios. Por esta razón, se propuso organizar los recursos humanos que puedan combatir el fuego y brindar los insumos, herramientas y equipamiento necesarios para lograrlo. Es por ello, que se solicitó a los grupos modelizar un plan permita minimizar los costos de inversión. Además, se plantearon 4 alternativas distintas para que los grupos de trabajo evalúen situaciones diferentes. Para resolver este trabajo práctico se utilizó Modelización, Programación Lineal, Entera y Mixta.

- Colectores solares térmicos para agua caliente sanitaria en viviendas construidas por el Estado Nacional

Para realizar este trabajo, se utilizó como fundamento el Programa de Desarrollo de la Industria Solar Térmica de Argentina (PRODIST), cuyo objetivo es fomentar el potencial de producción nacional de tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar térmica, al mismo tiempo que se busca incrementar la capacidad total instalada de sistemas solares térmicos. Una de las acciones promovidas por este programa es la instalación, en todas las viviendas del Estado previstas para construirse en algunas provincias del país durante el 2023, de equipos solares térmicos de fabricación local, con el fin de que cada hogar pueda contar con agua caliente sanitaria. En función de esto, se presentó a los grupos una situación hipotética de convocatoria a licitación pública dirigida a empresas nacionales capaces de llevar a cabo el equipamiento, la instalación y el mantenimiento de los equipos solares térmicos, los cuales se instalarán en diversas provincias de Argentina para que cada vivienda disponga de agua caliente sanitaria. Se les solicitó seleccionar la empresa o las empresas más adecuadas para realizar las instalaciones, tomando como criterio principal el menor costo económico posible y la óptima utilización de recursos. Para resolver este trabajo práctico se utilizó Modelización, Programación Lineal, Entera y Mixta.

- Diseño de una red de distribución eléctrica provincial para nuevos usuarios

Este trabajo práctico se enfocó en las transformaciones significativas que atraviesa la ciudad de Rosario y sus alrededores en lo referente a la expansión residencial en proceso de conurbación, así como el aumento de la actividad fabril y la creación de nuevos parques industriales. Por lo tanto, siendo que el suministro de energía eléctrica desempeña un rol fundamental en la ejecución de proyectos urbanísticos y en la expansión del sector industrial, se propuso a los grupos que utilizando la teoría de grafos, lleven a cabo el análisis de una red de distribución diseñada para suministrar energía eléctrica a un nuevo parque industrial provincial desde una estación transformadora ya instalada con el objetivo de trazar una ruta que abarque la mayor cantidad posible de desarrollos urbanos, dando prioridad a la ruta más corta y considerando restricciones de presupuesto y tiempo.

Las situaciones analizadas se seleccionan por su relevancia en el momento en que se imparte la asignatura, con el objetivo de incentivar a los y las estudiantes en el desarrollo de las técnicas y herramientas aprendidas en diferentes aplicaciones.

Una vez que el caso es resuelto cuantitativamente, cada grupo entrega un informe donde se describen los resultados y su análisis, con el fin de comunicar de manera clara las conclusiones alcanzadas.

Durante los últimos cuatro años, en los que se ha implementado esta nueva perspectiva, los y las estudiantes han expresado su satisfacción. Esta opinión fue recogida a través de la encuesta anónima

de evaluación docente, utilizada como herramienta de mejora continua. Los resultados fueron altamente positivos, resaltando como principales puntos:

- Tratar en la asignatura temas actuales y asociados a las necesidades socioambientales.
- El desafío de tener que pensar situaciones que no se habían visto en forma directa en las clases.
- La dificultad de que tenga muchas variables y restricciones los acercó más a la realidad.
- Tener que presentar un informe y defender la conclusión a la que habían llegado.

Los resultados de las encuestas, los comentarios de los estudiantes y, sobre todo, la participación activa de los docentes como ciudadanos en temas de actualidad, invitan a reflexionar sobre la importancia de incluir en la clase casos de estudio que no solo fortalezcan la formación técnica, sino que también promuevan la ética, la responsabilidad social y la sostenibilidad ambiental. Esto permitirá que los futuros ingenieros industriales no solo sean competentes en sus áreas de especialización, sino que también se conviertan en agentes de cambio en sus comunidades y en el ámbito laboral.

3. CONCLUSIONES

La integración de teoría y práctica en Investigación Operativa I, mediante el uso de casos reales, ha demostrado ser un enfoque valioso para la formación de ingenieras e ingenieros industriales. Esta propuesta didáctica no solo fortalece las competencias técnicas de las y los estudiantes, sino que también fomenta una profunda comprensión de la ética profesional, la responsabilidad social y la sostenibilidad ambiental. Al trabajar con problemas de alta relevancia e impacto social, las y los estudiantes desarrollan habilidades críticas que les permiten abordar los desafíos del mundo real con una visión integral y comprometida.

De cara al futuro, se continuará con la implementación de esta metodología adaptada, incorporando temas actuales y de significativa relevancia socioambiental. Esta evolución en los trabajos prácticos busca enriquecer la formación de las y los estudiantes, preparándose para enfrentar tanto el ámbito público como el privado con eficacia y ética. La cátedra se compromete a expandir el alcance de la asignatura más allá de los enfoques productivistas tradicionales, integrando problemáticas contemporáneas para asegurar que las futuras y futuros profesionales puedan contribuir positivamente en sus entornos laborales y, fundamentalmente, en la comunidad. El desafío del equipo docente es mantener esta dinámica de actualización continua, enriqueciendo los ejercicios en el aula y preparando a las y los estudiantes para un desempeño integral y adaptado a las necesidades actuales.

4. REFERENCIAS

CONFEDI (2018) Propuesta de estándares de segunda generación para la acreditación de carreras de ingeniería de la República Argentina “Libro Rojo del CONFEDI”. Rosario.

Material teórico-práctico de confección propia (2020, 2021, 2022). Investigación Operativa I. Código I21. Ingeniería Industrial. Escuela Ingeniería Industrial, FCEIA, UNR.

MINISTERIO DE EDUCACIÓN (2021). Resolución 1543. “Estándares para la Acreditación - Ingeniero Industrial Anexo IV”. Buenos Aires, Argentina.

Osorio M., C. (2002). La educación científica y tecnológica desde el enfoque en Ciencia, Tecnología y Sociedad. Aproximaciones y experiencias para la educación secundaria. Revista Iberoamericana De Educación, 28, 61-81.

Programa de Investigación Operativa I. Código I21. Ingeniería Industrial (Plan 2014). Escuela Ingeniería Industrial, FCEIA, UNR.

LA INVESTIGACIÓN Y LA PRESENTACIÓN COMO MÉTODO DE APRENDIZAJE Y DE EVALUACIÓN

Neira, Rodolfo; Apendino, Carolina

Facultad Regional San Francisco, Universidad Tecnológica Nacional
rodolfoneira8@gmail.com; caroapendino@gmail.com

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es evidenciar los resultados obtenidos en haber implementado la investigación de temas afines a la carrera y, la posterior presentación en forma de monografía y, su exposición oral. En el proceso de enseñanza y de aprendizaje basado en competencias, resulta importante la participación activa y la interacción de los estudiantes para que se logre un aprendizaje pleno, con la ayuda de las tecnologías de la información y la comunicación, herramientas que los jóvenes incorporan con mayor rapidez y naturalidad. La metodología utilizada consiste en la investigación y posterior presentación oral de un trabajo de investigación en formato de monografía, frente a los integrantes del curso. Las conclusiones a que se arribaron dan cuenta que estas instancias de participación activa (grupal o individual) en trabajos de investigación y, su posterior presentación oral, potencian el desarrollo cognitivo, del saber hacer y del saber estar, favoreciendo al estudiante en el saber ser. En este marco de aprendizaje basado en competencias y centrado en el estudiante, se hace necesario un cambio en el rol docente, siendo un guía en este proceso, incorporando nuevas tecnologías al interior de las cátedras y, abriendo camino hacia una innovación abierta que incluya la inteligencia artificial, la robótica educativa, la Internet de las cosas (IoT), el blockchain, entre otros.

Palabras Claves: Investigación – Presentación – Método – Aprendizaje – Evaluación.

ABSTRACT

The objective of this work is to demonstrate the results obtained by having implemented research on topics related to the career and the subsequent presentation in the form of a monograph and its oral presentation. In the teaching and learning process based on competencies, the active participation and interaction of students is important so that full learning is achieved, with the help of information and communication technologies, tools that young people incorporate with ease. greater speed and naturalness. The methodology used consists of research and subsequent oral presentation of a research work in monograph format, in front of the members of the course. The conclusions reached show that these instances of active participation (group or individual) in research work and its subsequent oral presentation, enhance cognitive development, know-how and know-how, favoring the student in knowing how to be. . In this framework of competency-based and student-centered learning, a change in the teaching role is necessary, being a guide in this process, incorporating new technologies within the chairs and paving the way towards open innovation that includes artificial intelligence, educational robotics, the Internet of Things (IoT), blockchain, among others.

Keywords: Research – Presentation – Method – Learning – Evaluation.

1. INTRODUCCIÓN

Antecedentes

Desde el año 2018 el Consejo Federal De Decanos De Ingeniería (CONFEDI) propuso adecuar los planes de estudio y las actividades de enseñanza al enfoque por competencias, que el LIBRO ROJO toma como eje central.

Este enfoque implica cambios radicales que deben darse tanto en el proceso de enseñanza como en el de evaluación. La Facultad Regional San Francisco de la UTN, se hizo eco de estas propuestas y, fruto de ello es este trabajo que se presenta a continuación:

Contexto en el que se lleva a cabo la experiencia:

Lugar: Facultad Regional San Francisco

Carrera: Ingeniería Industrial

Cátedra: Informática I

Nivel: 1°

Profesor a cargo: Docente Titular Interino y un Ayudante de Primera

Momento de cursado: Anual

Carga horaria: 96 horas cátedra

Estudiantes: Treinta y cinco (33)

Objetivos del trabajo presentado

- Evaluar una experiencia áulica que propone el aprendizaje autónomo
- Analizar los resultados de una tarea que propone desarrollar la competencia comunicativa.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Marco teórico

¿Qué es el aprendizaje autónomo? Es la capacidad de aprender por uno mismo, también se lo conoce como autoaprendizaje, estudio independiente o autodirigido. Es un proceso que dirige el mismo individuo. En este tipo de aprendizaje se procesa y codifica la información y se fundamenta en el análisis y la reflexión; por otra parte permite a los estudiantes gestionar y ejecutar estrategias. Según Rivadeneira y Silva Bustillo (2017) permite “al estudiante desarrollar competencias, habilidades y actitudes para la lectura, pensamiento crítico, análisis, síntesis, trabajo autónomo y en equipo” (p. 8).

Dentro del aprendizaje autónomo se ponen en juego importantes roles del estudiante como la responsabilidad individual, aprender a investigar, tomar conciencia del propio estilo de aprendizaje de cada uno, entre otras. La investigación es una de las mejores propuestas para llevar a cabo este tipo de aprendizaje, tal como señala (Espinel et al., 2016) la metodología basada en la investigación significa un reto para cualquier institución educativa.

La autonomía en el aprendizaje, según (Cabrera, 2009, citado por Madrigal gil, 2022, p. 151), se ha definido como una capacidad de “captar las exigencias de las tareas de aprendizaje, movilizar una serie de conocimientos, habilidades y hábitos integrados en torno a una dirección específica de aprendizaje, utilizándolos intencionalmente”, donde lo estratégico se visualiza en las características mismas de los elementos que moviliza, y aunque constituya una labor individual, no puede desconocer las mediaciones sociales e institucionales.

De relevante importancia es la consideración de lo estructural que resulta el uso organizado y pertinente de la estrategia de aprendizaje que conduce a lo que Monereo (2014) denomina aprendizaje estratégico, ya que no se constituye en algo accidental en la educación, sino que lo convierte en sustancial para los procesos formativos donde el aprender a aprender y el aprender durante toda la vida, como lo plantea la UNESCO (2015) se postula como centro de la educación moderna, la educación del futuro.

¿Qué se entiende por competencia?

Una mirada sucinta a la literatura en torno a la temática permite apuntar hacia diversas propuestas teóricas (Perrenoud, 2008; Cano, 2008; Villa y Poblete, 2004; Sarramona, 2007; De Miguel, 2006;

Medina, 2009; Sevillano, 2009; Zabalza, 2003; Bunk, 1994, entre otros), si bien, en primer lugar se tendrán en cuentan dos proyectos que han tenido un alto impacto en la temática.
Así, el proyecto DeSeCo (Definition and Selection of Competencies), auspiciado por la OCDE, se desarrolló a finales del siglo pasado y desde sus comienzos pretendió identificar competencias clave en el nuevo contexto mundial, dando continuidad a otros informes como Aprender a Ser (Faure, 1973) e Informe Delors (Delors, 1996). Lo cierto es que se ha convertido en una referencia obligada para el tema que nos ocupa. El propio proyecto define competencia como "la capacidad para responder a las exigencias individuales o sociales para realizar una actividad o una tarea" desde una combinación de "habilidades prácticas y cognitivas interrelacionadas, conocimientos (incluyendo el conocimiento tácito), motivación, valores, actitudes, emociones y otros elementos sociales y de comportamiento que pueden ser movilizados conjuntamente para actuar de manera eficaz" (OCDE, 2003, p.8). Y más adelante se puede leer que la competencia "se manifiesta en acciones, conductas o elecciones que pueden ser observadas o medidas" (OCDE, 2003, p.48), lo que implica que se pretenden establecer indicadores para su evaluación y medida.
En otro referente importante, el Proyecto Tuning, se indica que las competencias "representan una combinación dinámica de conocimientos, habilidades, capacidades y valores" (González y Wagenaar, 2006, p.32).
Además de estos dos proyectos, se presentan a continuación diversas conceptualizaciones de competencia. Así, Perrenoud (2008) afirma que la competencia es una actuación integral que permite identificar, interpretar, argumentar, y resolver problemas del contexto con idoneidad y ética, integrando el saber ser, el saber hacer, el saber conocer. Esta conceptualización coincide plenamente con (Cano 2008, p.6) al señalar que la competencia "articula conocimiento conceptual, procedimental y actitudinal".
También De Miguel (2006, p.28) identifica la competencia como "el resultado de la intersección de los componentes: conocimientos, habilidades y destrezas, actitudes y valores", cuestión en la que profundizan Leví y Ramos (2013), al proponer un modelo de componentes de las competencias. Bunk (1994), en un esfuerzo integrador, propuso hace un tiempo que posee competencia profesional quien dispone de los conocimientos, destrezas y actitudes necesarias para ejercer una profesión, es capaz de resolver problemas de forma autónoma y flexible y puede colaborar en su entorno profesional.
De igual forma, Villa y Poblete (2004, p.8) indican que competencia significa "un buen desempeño en contextos complejos y auténticos. Se basa en la integración y activación de conocimientos, habilidades y destrezas, actitudes y valores". En esa misma línea, Jaume Sarramona señala que las competencias son "la síntesis de conocimientos, habilidades y actitudes que permiten actuar de manera eficaz ante una situación. Por consiguiente, las competencias tienen una clara vertiente aplicativa, aunque no se agotan con la perspectiva práctica" (Sarramona, 2007, p.32).
La perspectiva adoptada por Medina (2009, p.13) sugiere que la formulación de la competencia debe integrar "aquello que hemos de aprender, cómo hemos de aplicar y poner en práctica lo que hemos aprendido y las actitudes, emociones y valores que subyacen al proceso de enseñar y aprender". En total sintonía, la propuesta de Sevillano (2009, p.7) apunta que la competencia "supone valores, actitudes y motivaciones, además de conocimientos, capacidades, habilidades y destrezas, todo formando parte del ser integral que es la persona, una persona inserta en un determinado contexto, en el que participa e interactúa, considerando también que aprende de manera constante y progresiva a lo largo de toda su vida". Más sintético es M. A. Zabalza, para quien la competencia es "el conjunto de conocimientos y habilidades que los sujetos necesitamos para desarrollar algún tipo de actividad". (Zabalza, 2003, p.70)
El Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) propone una nueva metodología de enseñanza-aprendizaje e invita a la implantación de un modelo basado en el desarrollo de las competencias. La finalidad es dotar a los alumnos de unas competencias que les permitan seguir aprendiendo y encontrar por sí mismos los caminos del conocimiento y la resolución de problemas. Igualmente, busca proporcionar una educación técnica y dotar de una capacitación a los futuros profesionales, dotándoles de habilidades combinables que sirvan tanto para la esfera académica como laboral. La educación por competencias, además de reconocer el resultado de los procesos escolares formales, también reconoce los conocimientos, habilidades y destrezas adquiridos fuera de las aulas. (Sierra, Cabezuelo, 2009)
Competencia es, dice la definición, «la capacidad individual para emprender actividades que requieran una planificación, ejecución y control autónomos». O, como señala Roe (2002), «la capacidad aprendida para realizar adecuadamente una nueva tarea, función o rol».
Según el CONFEDI (2018), define:

“Competencia es la capacidad de articular eficazmente un conjunto de esquemas (estructuras mentales) y valores, permitiendo movilizar (poner a disposición) distintos saberes, en un determinado contexto, con el fin de resolver situaciones profesionales”
El Diseño Curricular implementado a través de la ordenanza n° 1851 para la carrera de Ingeniería Electromecánica, en el ítem 5.1. Competencias genéricas señala que un egresado de esta carrera debe “aprender de forma continua y autónoma” y, “comunicarse con efectividad”, tal como se señala en el Libro Rojo.

3. Descripción de la experiencia
Se menciona la secuencia de acciones planificadas por la cátedra:

3.1. Pautas generales para realizar una investigación bibliográfica

3.1.1. Selección y fichaje del material con la lectura del mismo. Esta es una etapa importante ya que el trabajo dependerá del material bibliográfico analizado. Por eso el primer avance deberán presentarlo ni bien finalizada la etapa y previa a la tarea 2.

3.1.2. Elaboración de un esquema de contenido que evidencie la jerarquización de conceptos. El esquema de contenido muestra la forma en que se han jerarquizado los contenidos y la relevancia de algunos por sobre otros. Por otra parte es un guía importante para la redacción de la monografía. En esta ocasión se presenta el segundo avance.

3.1.3. Análisis en profundidad de cada uno de los items propuestos. En esta parte del proceso deberán escribir los resultados del análisis (lectura y relectura) del material bibliográfico.

3.1.4. Escritura de la monografía. El proceso de escritura es muy importante e implica reescrituras permanentes como así un ida y vuelta permanente con el docente. A partir de esta actividad se hará el tercer avance.

Los avances en la investigación se hacen para corregir posibles errores e interpretaciones y llegar así a una feliz producción.

3.1.5. Exposición de la misma con soportes tic, previa presentación para su corrección por parte de la cátedra

Todas las tareas anteriores son realizadas por los estudiantes supervisados por los docentes a través de la presentación de borradores de avances en la investigación bibliográfica.

3.2 Pautas para la evaluar la experiencia
En cuanto a la evaluación de la experiencia se proponen los siguientes pasos

3.2.1. Identificar y comprender la competencia que se pretende evaluar en este caso: la capacidad para usar la investigación bibliográfica para adquirir conocimientos de forma autónoma y para comunicar ese conocimiento a través de un trabajo monográfico y de su exposición ante el grupo clase

3.2.2. Definir los criterios de evaluación. En este caso fueron:
A. Bibliografía seleccionada (actualidad y relevancia)
B. Comprensión de los textos
C. Selección de la información
D. Jerarquización de contenidos
E. Producción escrita (cohesión textual, coherencia, organización de ideas, aspectos formales)
F. Exposición (claridad, concisión, apoyos audiovisuales)

En la Tabla 1, se muestran los criterios de evaluación, indicadores y puntaje para cada uno de ellos.

Tabla 1 Criterios de evaluación, indicadores y su puntaje

Criterios de evaluación	Indicadores	Puntaje
Bibliografía seleccionada	Actualidad Relevancia	0 -5 0 – 10

	Cantidad	0 – 10
Comprensión de texto	Correcta interpretación Conceptos clave	0 – 10 0 – 10
Selección de la información	Relevancia de la información seleccionada	0 – 10
Jerarquización de contenidos	Presencia de conceptos clave Conceptos incluyentes	0 – 10 0 – 10
Producción escrita	Cohesión textual Coherencia Organización e ideas Aspectos formales	0 – 10 0 – 10 0 – 10 0 – 10
Exposición oral	Claridad Concisión Apoyos audiovisuales	0 – 10 0 – 10 0 – 10

Para corroborar la utilidad de esta forma de presentar una investigación, se brindó a los estudiantes un documento de consulta compuesto de ocho preguntas abiertas, para que puedan mencionar como se sintieron en esta instancia y, que debía ser respondido en forma anónima. Fue subido al Campus Virtual Global (CGV) de la Facultad Regional San Francisco. El contenido del documento, que pretende evidenciar si la forma de evaluación les resultó útil, es el siguiente: 1) Género 2) ¿Las consignas fueron explicadas claramente? 3) ¿Dentro de la planificación de la cátedra, el momento para su realización es el correcto? 4) ¿Les resultó útil que la cátedra presente un listado de temas? 5) ¿Encontraron dificultades al trabajar en equipo? Explicar. 6) La presentación oral, ¿Resultó difícil? Explicar. 7) ¿Los contenidos brindados para este trabajo fueron adecuados? 8) ¿Desea agregar comentarios?

En primer lugar, respecto al género, integran el grupo treinta y tres estudiantes, donde se observa un 55% (18) femenino, un 42% (14) masculino y un 3% (1) como otro. La Figura 1 ilustra lo enunciado precedentemente.

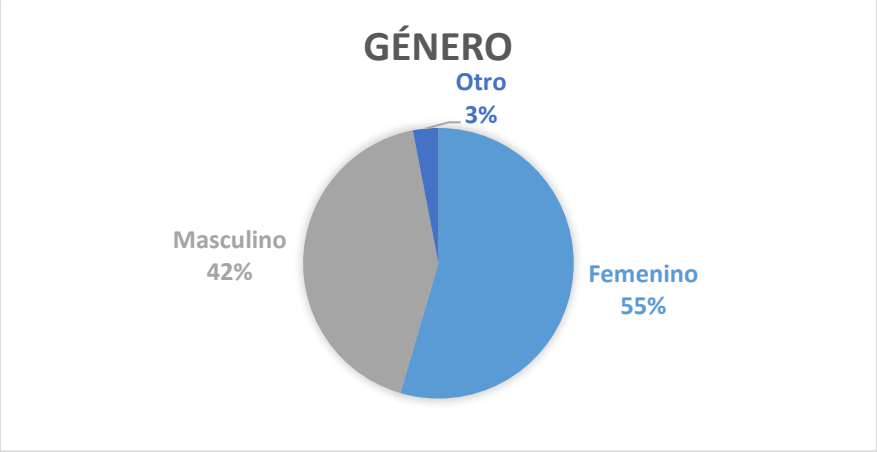


Figura 1 Consulta por género.

Aspectos positivos y negativos encontrados

Después de analizar las repuestas de los estudiantes al cuestionario presentado, se mencionan detalles de cada una de las consultas.

En respuesta a la segunda pregunta, los estudiantes expresaron: 27 (82%) encontró positivas las consignas, uno (3%) negativas, uno (3%) se mostró indefinido y 4 (12%) no contestó. Se muestran algunos enunciados de estudiantes, en forma positiva: Alumno 2. “Si se explicaron correctamente.” Alumno 5: “Si, se entendieron claramente el punto y las maneras de realizar” Alumno 7: “Las consignas fueron explicadas muy claramente”. En forma negativa, Alumno 13: “Si fueron explicadas claramente, pero hubiese faltado una explicación de que es una monografía y cual es su uso”. La Fig. 2 muestra la situación en esta pregunta:

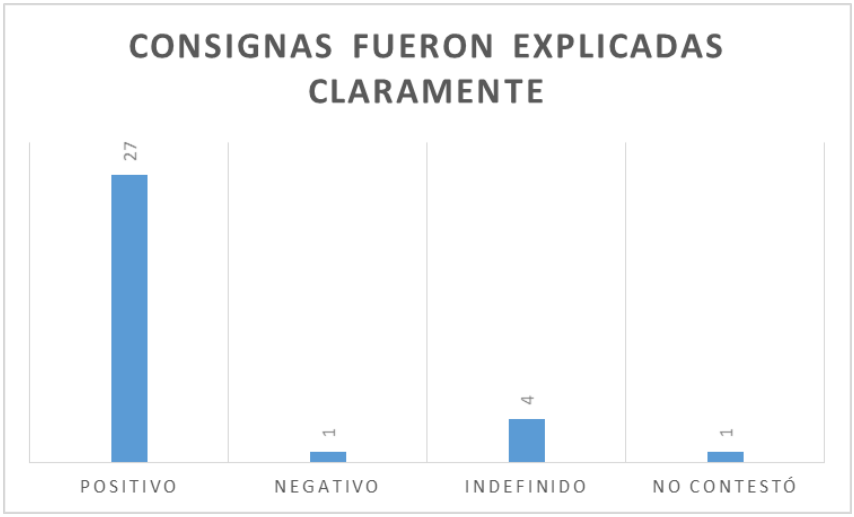


Figura 2 Las consignas fueron explicadas claramente.

Para la tercera pregunta, los estudiantes manifestaron: 27 (82%) encontró positivo que dentro de la planificación, el momento para su realización es el correcto, dos (6%) negativo, dos (6%) indefinido y dos (6%) no contestó. Algunos enunciados de estudiantes, en forma positiva: Alumno 25: “Si, lo considero correcto” Alumno 30: “Si, cuando antes se realice esta actividad a mi parecer porque aprendimos mucho a pasar al frente y exponer, y así ayudamos con futuras exposiciones” Alumno 32: “El momento en que se realizó la monografía es correcto”. En forma negativa: Alumno 14: “En lo personal opino que tendría que haber sido más adelante, una vez después de aprender sobre más herramientas” Alumno 15: “Tal vez hubiera sido mejor si se veía la utilización de PowerPoint, Canva, etc.)”. La Figura 3 evidencia las respuestas de los estudiantes:

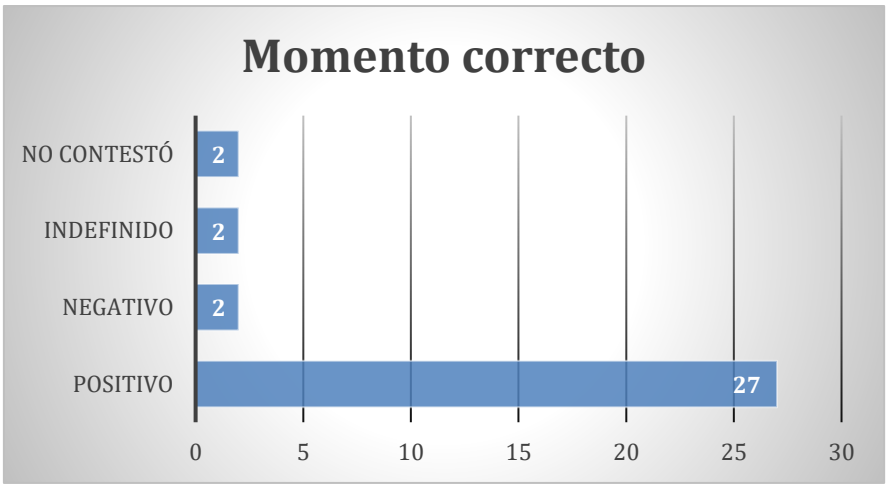


Figura 3 El momento para su realización es el correcto.

En la cuarta pregunta donde se solicita si les resultó útil que la cátedra presente un listado de temas, los estudiantes respondieron: 27 (82%) de manera positiva, uno (3%) indefinido y 5 (15%) no contestó. Algunos enunciados que respondieron los estudiantes, en forma positiva: Alumno 7: “Muy útil así teníamos algo definido sobre qué hablar” Alumno 10: “Sí, así facilitaba la elección del tema” Alumno

19: “Considero que sí, ya que aparte de ser temas interesantes, se podrían relacionar a nuestra carrera” Alumno 29: “Si, esto facilitó la elección del mismo” y Alumno 31: “Si muy útil”. La Figura 4 para mostrar la respuesta de los estudiantes:

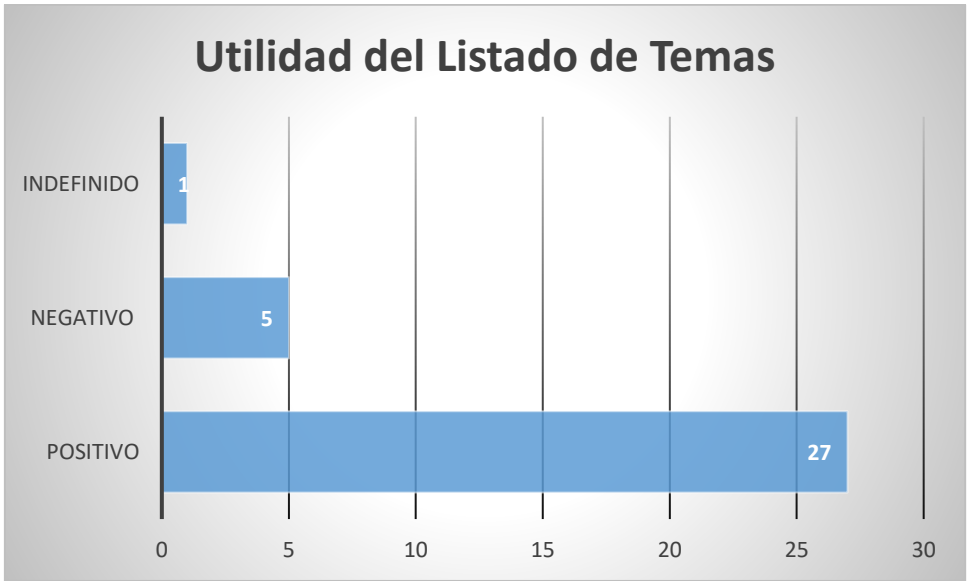


Figura 4 Resultó útil que la cátedra presente un listado de temas.

Para la quinta pregunta donde se consulta si encontraron dificultades al trabajar en equipo, los estudiantes manifestaron: 24 (73%) no haber tenido dificultades, 4 (13%) si haber encontrado dificultades, 2 (6%) se mostró indefinido y 3 (9%) no contestó. Al respecto me exponen algunos enunciados, en forma positiva, Alumno 6: “Ninguna, excelente equipo” Alumno 8: “No, tengo mucha afinidad con mis compañeras” Alumno 26: “No para nada, nos pusimos de acuerdo, y repartimos el trabajo en partes para que cada uno tenga lo suyo”. Aquí se reconoce lo expresado por David Perkins (2018) cuando expresa, “configurando las cosas de forma tal que los alumnos puedan alcanzar objetivos de manera gradual y llegar a creer que pueden mejorar su capacidad”. En forma negativa, Alumno 9: “Sii, es muy complicado establecer un horario para juntarnos o también no ayudan en la colaboración del trabajo” Alumno 10: “No todos aportan de la misma manera y no todos estudian como se debería para la presentación, lo cual termina afectando al grupo”. La situación se muestra en la Figura 5:

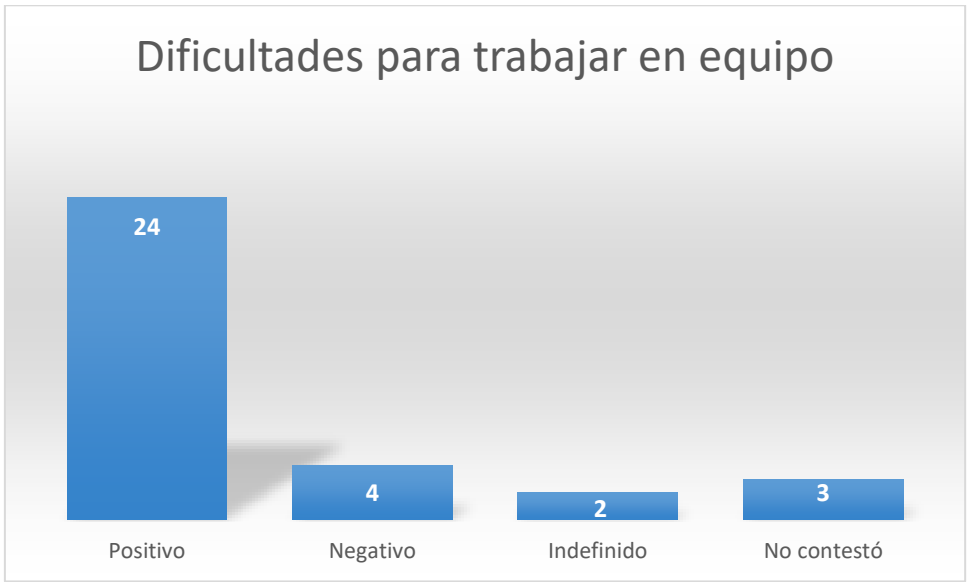


Figura 5 Encontraron dificultades al trabajar en equipo.

En la sexta pregunta, los estudiantes expresaron: 16 (49%) de manera positiva respecto de la presentación oral ¿resultó difícil?, 5 (15%) de manera negativa, 7 (21%) indefinido y 5 (15%) no contestó. Se rescatan algunos de los enunciados, de manera positiva, Alumno 15: “No fue difícil ya que conocíamos bien el tema y estaba dividido en partes equitativas”. Siguiendo a Carina Lion (2006), cuando habla del aprendizaje colaborativo que es una forma de aprendizaje que permite construirlo en colaboración y, expresa “El trabajo en colaboración implica la generación de lazos que apuntan a socavar la cultura del individualismo”. Referente a este tema, Mariana Maggio (2012), quien construye el concepto de “enseñanza poderosa” cuya esencia es crear una clase en un contexto de alta disposición tecnológica como propuesta original que transforma a los sujetos que la comparten y cuyas huellas permanecen. Tomando uno de los rasgos que dice: Mirar en perspectiva y, llevado al plano concreto del aula, una clase de mirada en perspectiva implica, entre otras cosas, promover el trabajo colaborativo entre pares para que se reconozcan las producciones del otro, para entender las decisiones tomadas y adentrarse en la calidad de la producción. Díaz Barriga señala que el aprendizaje colaborativo se distingue de otros tipos de aprendizaje por la igualdad que debe tener cada individuo en el proceso de aprendizaje y la mutualidad, entendida como la conexión, profundidad y bidireccionalidad que alcance la experiencia, siendo ésta una variable en función de la distribución de responsabilidades, la planificación conjunta y el intercambio de roles. Alumno 30: “Realmente no, es un lindo ambiente el que había” Alumno 31: “No, fue mejor de lo esperado”. En forma negativa, tenemos, Alumno 4: “Un poco, los nervios me ganaron” Alumno 8: “Si, me da vergüenza” Alumno 14: “En lo personal sí, porque soy una persona introvertida y con miedo de hablar en público delante de muchas personas”. En los indefinidos tenemos, Alumno 5: “Los nervios de nunca haber presentado oralmente me hacen decir que si por un lado pero por otro no, creo que los temas no eran tan complejos y el ambiente fue cómodo” Alumno 12: “me puse nervioso al hablar mucho tiempo seguido, pero es una experiencia que sirve para mejorar Alumno 25: “Considero que el único factor que podría jugar en contra es el miedo a hablar en público, pero me pareció difícil”. En la Figura 6, se muestran las evidencias de los estudiantes:

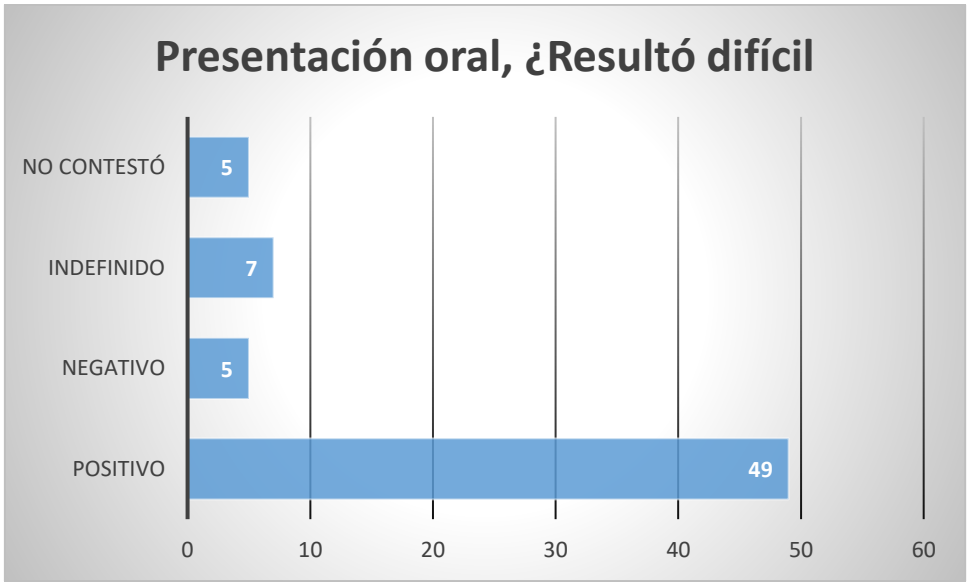


Figura 6 La presentación oral, ¿Resultó difícil?

En la séptima pregunta, donde se consulta si los contenidos brindados para este trabajo fueron adecuados, los estudiantes expresaron: 26 (79%) de manera positiva, uno (3%) negativa, dos (6%) indefinido y 4 (12%) no contestó. Se muestran algunos enunciados, de manera positiva, Alumno 6: “Los contenidos fueron excelentes, ya que me brindaban muchas información” Alumno 13: “Sii, me parecieron bien adecuados” Alumno 25: “Al haber sido entornos en los que un ingeniero industrial podría terminar trabajando, los considero adecuados”. Rueda (2014) señala que: La noción de aprendizaje activo conlleva una teoría acerca del proceso de adquisición de conocimiento a través de la acción, la experimentación y la interacción con las personas y los diversos elementos presentes en el entorno. Este enfoque se sustenta en la premisa de que la actividad orientada hacia la comprensión y la atribución de significado desempeña un papel fundamental en el proceso de aprendizaje. En este

sentido, se reconoce a las personas como protagonistas principales en el proceso de enseñanza y aprendizaje. En consecuencia, el aprendizaje activo requiere la participación motivada, la atención consciente y la voluntad comprometida por parte de los visitantes y estudiantes. Estos aspectos son fundamentales para que los mismos se involucren de manera significativa en su propio proceso de aprendizaje. En forma negativa, Alumno 12: "fueron útiles bastantes conocimientos de Word, aunque no vimos nada específico sobre powerpoint". Se muestran las respuestas en la Figura 7:

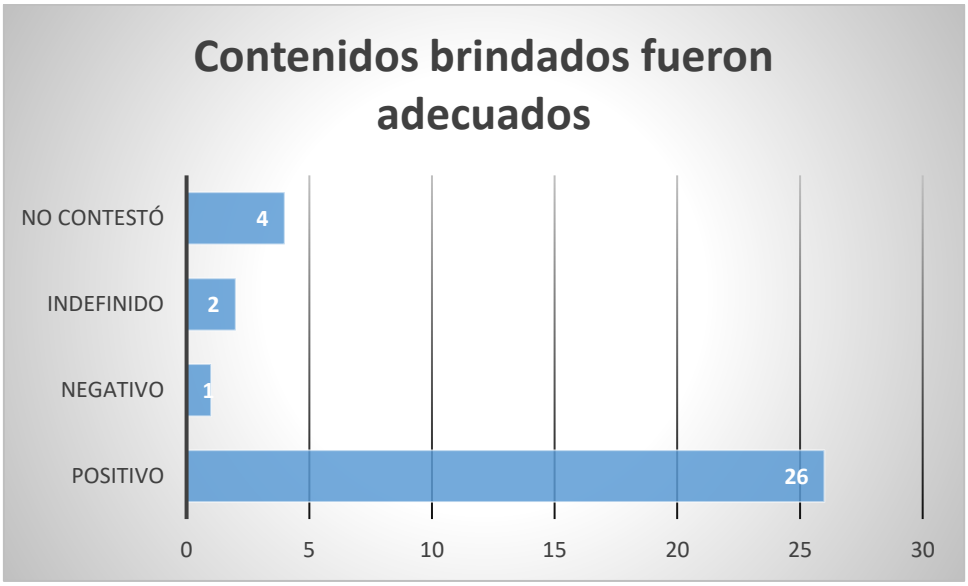


Figura 7 ¿Los contenidos brindados para este trabajo fueron adecuados?

Para la octava pregunta, los estudiantes expresaron: 3 (9%) de manera positiva si desea agregar comentarios, dos (6%) negativa, 19 (58%) indefinido y 9 (27%) no contestó. Algunos enunciados se presentan a continuación, de manera positiva, Alumno 7: "Fue lindo que se hayan generado debates en relación a las presentaciones" Alumno 18: "El trabajo me pareció interesante para desarrollar oralidad" Alumno 30: "Agradezco que gracias a esta actividad nos ayudaron a mejorar a exponer y una buena presentación". En forma negativa, Alumno 12: "Dar una clase de PowerPoint" Alumno 32: "Sí. Para todas las cátedras. Sugiero que los trabajos en grupo comiencen en el segundo cuatrimestre. Para ese momento sabemos quién quiere trabajar y trabaja en equipo. El trabajo en equipo con compañeros que no les importa la carrera, perjudica al alumno responsable y dedicado.". En la Figura 8 se expresa lo manifestado por los estudiantes:

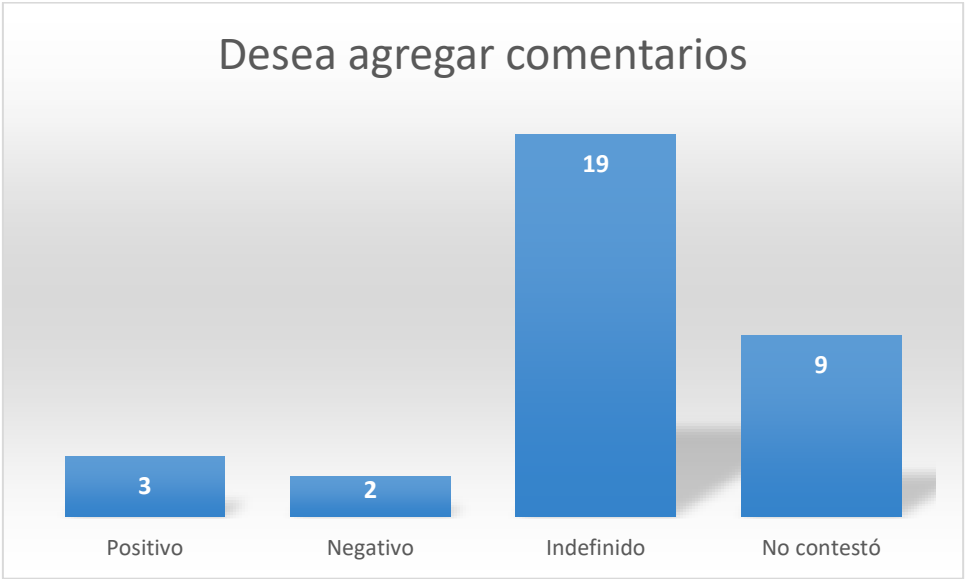


Figura 8 ¿Desea agregar comentarios?

Resultados y discusiones

Después de analizar las respuestas de los estudiantes, en cada una de ellas se diferencia que expresa cada estudiante, desde el punto de vista positivo, negativo, indefinido y no contestar. Respecto de los porcentajes de indefinido y no contestó, resultan menores respecto a los enunciados positivos y negativos, salvo en la pregunta número ocho donde se solicita si desea agregar comentarios. Al ser un documento anónimo y con preguntas abiertas, se logra una mayor participación para enriquecer la práctica docente con material de primera mano.

Como elemento distintivo, se menciona que un estudiante en todas sus respuestas menciona la palabra “Hola”, entendiendo que no supo interpretar la consigna solicitada.

Queda claro que al analizar las respuestas de los estudiantes para poder evidenciar que esta forma de evaluar utilizando la realización de una monografía y su posterior presentación oral, prevalecen en demasía los aspectos positivos sobre los negativos, afirmando que es correcta esta forma de evaluación.

3. CONCLUSIONES.

Teniendo en cuenta el objetivo del trabajo presentado y, atendiendo a lo implementado en el nuevo Diseño Curricular para la carrera de Ingeniería Industrial que se cursa en la UTN Facultad Regional San Francisco, es evidente que se debe profundizar la participación del estudiante en el proceso de su propio aprendizaje, con actividades que evidencien su compromiso y responsabilidad. La comunicación de éstas debe ser clara, simple y concisa, para que puedan ser interpretadas por todos los estudiantes.

Estas instancias de participación activa (grupal o individual) en trabajos de investigación y, su posterior presentación oral, potencian el desarrollo cognitivo, del saber hacer y del saber estar, favoreciendo al estudiante en el saber ser, como quedó de manifiesto según lo expresado por el Alumno 18, cuando dice “El trabajo me pareció interesante para desarrollar oralidad”, ya que el día de mañana cuando ejerzamos como profesionales va a ser algo muy común” y, el Alumno 30, expresa: “Agradezco que gracias a esta actividad nos ayudaron a mejorar a exponer y una buena presentación”.

Además de tener en cuenta las conclusiones derivadas de la opinión del estudiante, desde la cátedra se tuvieron en cuenta otros aspectos:

- Presentación en término de los avances
- Trabajos prácticos past exposición a todo el grupo clase
- Parciales

En general los resultados fueron positivos: Hubo dos desaprobados en el primer parcial y 31 aprobados y, la nota promedio fue 8, lo que evidencia comprensión.

En este marco de aprendizaje basado en competencias y centrado en el estudiante, se hace necesario un cambio en el rol docente, siendo un guía en este proceso, incorporando nuevas tecnologías al interior de las cátedras y, abriendo camino hacia una innovación abierta que incluya la inteligencia artificial, la robótica educativa, la Internet de las cosas (IoT), el blockchain, entre otros. Para incorporar estas tecnologías en el proceso educativo del siglo XXI, es necesario un cambio cultural en la educación, donde el docente debe modificar su rol en la enseñanza, pasando de ser la fuente del conocimiento a ser un guía de los contenidos que debe apropiarse el estudiante.

4. REFERENCIAS.

Bunk, G. P. (1994). La transmisión de las competencias en la formación y el perfeccionamiento profesional en la RFA. *Revista Europea de Formación Profesional*, 1, 8-14.

Cano, E. (2008). La evaluación por competencias en la educación superior. *Profesorado: Revista de Currículum y Formación del Profesorado*, 12(3)

Consejo Federal de Decanos de Ingeniería – CONFEDI. Giordano Lerena, Roberto; Cirimelo, Sandra (Editores). (2018). *Propuesta de estándares de segunda generación para la acreditación de carreras de Ingeniería en la República Argentina. Libro Rojo*. Mar del Plata. Universidad FASTA.

De Miguel, M. (2006). *Modalidades de enseñanza centradas en el desarrollo de competencias. Orientaciones para promover el cambio metodológico en el marco del EEES*. Oviedo: Universidad de Oviedo.

De Pablos Pons, J. (2008). *Algunas reflexiones sobre las tecnologías digitales y su impacto social y educativo.* Disponible en http://www.quadernsdigitals.net/datos/hemeroteca/r_1_773/a_10420/10420.pdf

Espinel, J., Robles, J., Ramírez, G. y Ramírez, R. (2016). Aprendizaje basado en la investigación: Caso UNEMI. *Revista Ciencia UNEMI,* 9 (21) 49-57. Recuperado de http://ojs.unemi. edu.ec

González, J. & Wagenaar, R. (eds.). (2003). *Tuning Educational Structures in Europe. Informe Final. Fase 1*. Bilbao: Universidad de Deusto.

Leví, G. y Ramos, E. (2013). Componentes de las competencias en los nuevos grados de algunas universidades españolas. *Revista de Educación*, 362, 623-658.

Lion, C. (2006). Imaginar con tecnologías. Relaciones entre tecnología y conocimiento. Buenos Aires: Stella.

Madrigal Gil, A. (2022). Estrategias de Aprendizaje y Aprendizaje Autónomo. *Revista de Estilos de Aprendizaje / Journal of Learning Styles*, Volumen 15, Número Especial I, 149-157

Maggio, M. (2012). *Enriquecer la enseñanza. Los ambientes con alta disposición tecnológica como oportunidad.* Buenos Aires: Paidós.

Medina, A. (2009). Fundamentación de las competencias discentes y docentes. En A. Medina (ed.), *Formación y desarrollo de la competencias básicas* (pp. 11-44). Madrid: Universitas.

Monereo, C. (2014). *El docente como estratega*. Cartagena: Redipe

Ordenanza 1908 de 2022. *[Ministerio de Educación] Establece el Diseño Curricular de Ingeniería Industrial 2023*. 6 de diciembre de 2022.

Perkins, D. (2018). El aprendizaje pleno. Principios de la enseñanza para transformar la educación. Buenos Aires: Paidós

Perrenoud, Ph. (2008). Construir las competencias, ¿es darle la espalda a los saberes? *Revista de Docencia Universitaria,* monográfico: Formación centrada en competencias

Rivadeneira, E. y Silva Bustillos, J. (2017). *Aprendizaje basado en la investigación en el trabajo autónomo y en equipo*. Recuperado de www.revista negotium.org. N° 38 (año 13) pág. 5-16.

Roe, R.A. (2002): «Competences: a Key towards the Integration of Theory and Practice in Work Psychology», en *Gedrad en Organisatei*, 15, 203-224.

Rueda, C. F. M. (2014). Problematizar: Acción fundamental para favorecer el aprendizaje activo. *Polisemia: Revista del Centro de Pensamiento Humano y Social*, (17), 40-54.

Sarramona, J. (2007). Las competencias profesionales del profesorado de secundaria. *Estudios Sobre Educación*, 12, 31-42.

Sevillano, M. L. (Dir.) (2009). *Competencias para el uso de herramientas virtuales en la vida, trabajo y formación permanentes*. Madrid: Pearson, Prentice Hall.

Sierra, Javier; Cabezuelo, Francisco. (2009). *Post periodismo y formación en competencias digitales bajo el paraguas de Bolonia.* I Congreso Internacional de la Sociedad Latina de Comunicación Social. Universidad de La Laguna.

UNESCO (2015). *Desglosar el objetivo de Desarrollo Sostenible 4 Educación 2030*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000246300_spa

Villa, A. y Poblete, M. (2004). Practicum y evaluación de competencias. *Profesorado: Revista de Currículum y Formación del Profesorado*, 8 (2). Disponible en: http://www.ugr.es/local/recfpro/rev82ed.pdf.

Zabalza, M. A. (2003). *Las competencias docentes del profesorado universitario. Calidad y desarrollo profesional.* Madrid: Narcea.

"GENERACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SOFTWARE PARA EL DIAGRAMA TEMPERATURA-ENTROPÍA DEL AGUA"

Turchetti, Marcelo; Alsina, Magdalena

Universidad Católica Argentina
marcelo.turchetti@gmail.com; magdalenaalsina@uca.edu.ar

RESUMEN

Consiste en la creación de un software para aplicaciones principalmente didácticas que, en un entorno gráfico dado en la pantalla de la computadora, de estructura semejante al clásico diagrama Temperatura Entropía del agua, conocido como "Diagrama T-s", permite recorrer los distintos estados termodinámicos, viendo sus propiedades, fijando estados y sus transformaciones. Es un diagrama cartesiano ortogonal donde la ordenada es la temperatura y la abscisa la entropía específica.

El diagrama devuelve los datos de los puntos seleccionados en el programa de manera ordenada: presión, temperatura, volumen, entalpía, energía interna, entropía, título, factor de compresibilidad y exergías. Es un proyecto innovador que constituye una evolución del "Diagramas T-s" tradicional del agua en papel.

Se diferencia de otros softwares existentes que calculan propiedades de los estados termodinámicos debido a su entorno visual y dinámico, haciendo que se encuentren los estados con menor trabajo que en el papel, razonando con criterio termodinámico. No se cargan los valores de las propiedades numéricamente ya que esto no ayuda a la comprensión.

El "mouse" se mueve en el diagrama mientras se ven las propiedades del vapor. Se juega con las curvas isotérmicas, isoentrópicas, isóbaras, de saturación, y otras. Se agregan funciones importantes. Es una herramienta vistosa y dinámica, como una versión remozada del diagrama de papel. Mejora el aprendizaje y es una nueva herramienta profesional.

El nombre del diagrama informático "Diagrama T-s animado del Agua" hace referencia a la sensación dinámica y móvil buscada y lograda en su operación, distinto a las gráficas en papel estáticas por naturaleza. Este software no genera esas gráficas.

Se utilizó el software en clases de la materia de grado, Termodinámica, de la carrera de Ingeniería Industrial de la UCA, con grupos de 45 alumnos, mostrando su uso en clases prácticas y aplicándolos a la resolución de problemas tanto en el tema de "Substancias Puras" como de "Ciclos de potencia de vapor". Especialmente en ésta última dio muy buenos resultados, facilitando y acelerando cálculos.

Palabras Claves: Propiedades termodinámicas del agua, software, entorno visual.

ABSTRACT

It consists of the creation of software for mainly educational applications that, in a graphic environment given on the computer screen, with a structure similar to the classic Temperature Entropy diagram of water, known as "T-s Diagram", allows you to go through the different thermodynamic states, seeing their properties, setting states and their transformations. It is an orthogonal Cartesian diagram where the ordinate is the temperature and the abscissa is the specific entropy.

The diagram returns the data of the points selected in the program in an ordered manner: pressure, temperature, volume, enthalpy, internal energy, entropy, title, compressibility factor and exergies. It is an innovative project that constitutes an evolution of the traditional "T-s Diagrams" of water on paper.

It differs from other existing software that calculates properties of thermodynamic states due to its visual and dynamic environment, making it possible to find the states with less work than on paper, reasoning with thermodynamic criteria. Property values are not loaded numerically as this does not aid understanding. The mouse moves on the diagram while viewing the properties of the vapor. It plays with isothermal, isentropic, isobaric, saturation, and other curves. Important features are added. It is a colorful and dynamic tool, like a revamped version of the paper diagram. It improves learning and is a new professional tool. The name of the computer diagram "Animated T-s Diagram of Water" refers to the dynamic and mobile sensation sought and achieved in its operation, different from paper graphs that are static in nature. This software does not generate these graphs.

The software was used in classes of the undergraduate subject, Thermodynamics, of the Industrial Engineering degree at the UCA, with groups of 45 students, showing its use in practical classes and applying them to solve problems both on the topic of "Substances Pure" and "Steam Power Cycles". Especially in the latter it gave very good results, facilitating and speeding up calculations.

Keywords: Thermodynamic properties of water, software, visual environment.

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de esta herramienta es facilitar el aprendizaje de las sustancias puras en Termodinámica *(Cengel Boles,2019)* mediante la dinamización y mejora en la búsqueda de propiedades, optimizando así la comprensión de los conceptos.

El software desarrollado presenta el diagrama Ts del agua en pantalla, similar al tradicional diagrama en papel, pero con funciones dinámicas que permiten un uso más ágil y eficiente. A diferencia de otros programas, su entorno gráfico facilita la localización de los estados con menor esfuerzo, promoviendo un razonamiento fundamentado en principios termodinámicos (Figura 1).

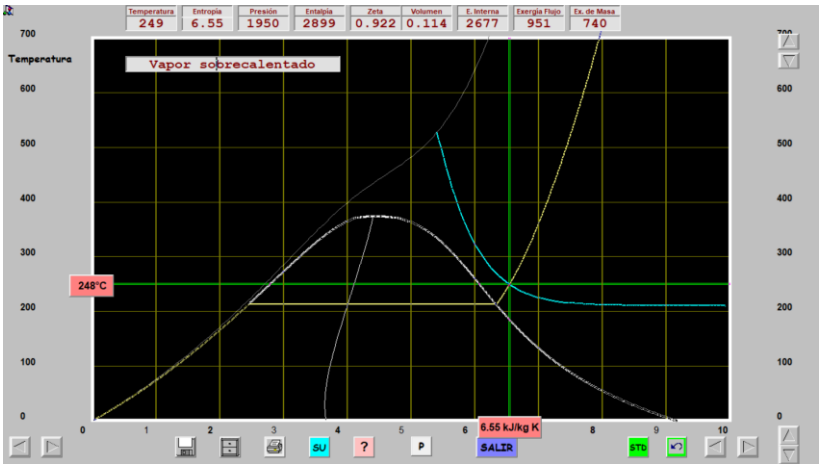


Figura 1. Vista de la pantalla del diagrama animado del vapor de agua.

En el programa no se cargan directamente los valores de las propiedades, lo que evita limitar el proceso de aprendizaje. Es común encontrar software que permite obtener los parámetros de un estado a partir de dos de sus parámetros, no cualesquiera sino los predeterminados, generalmente presión y temperatura o temperatura y entropía. De este modo se obtienen rápidamente el resto de las funciones de estado, a ciegas, sin ubicación en el entorno.

El "Diagrama T-s animado del Agua" permite interactuar con él a través del "mouse", mostrando las propiedades en tiempo real y posibilitando la exploración de curvas isotérmicas, isoentrópicas, isócoras, isóbaras y de saturación, junto con la incorporación de funciones adicionales esenciales para el análisis.

2. DESARROLLO BÁSICO DEL SOFTWARE

El trabajo se basa en la obtención de datos de tablas numéricas de las propiedades termodinámicas del agua dadas por American Society of Mechanical Engineers (ASME,2014), de donde se obtuvieron 2x377 estados correspondientes a la saturación (líquido y vapor saturados) y 14700 al vapor sobrecalentado y líquido subenfriado, en el rango de 0°C a 850°C de temperatura y de 0,61 kPa a 55 MPa de presión. Cada estado con las funciones: temperatura, presión, volumen específico, energía interna, entalpía, y entropía. Estos datos cubren ampliamente el rango útil en la mayoría de las aplicaciones de ingeniería y gracias a la cantidad de datos otorgan buenas precisiones en los resultados de interpolación.

El software toma estos datos y construye primeramente el diagrama ortogonal Temperatura-entropía, traza escalas, el cuadriculado de fondo y la campana de vapor o curva de saturación. Sobre esta base se ubica el punto en el diagrama que representa un determinado estado del agua al que le corresponde un valor de temperatura y de entropía dados por el posicionamiento del "mouse" (o como se verá más adelante, con órdenes dadas desde el teclado). El programa busca los valores de las restantes funciones de estado con ayuda de la base de datos, pero no en forma directa, porque en el caso general no va a estar este punto representado con la temperatura y la entropía como un estado de la biblioteca de datos. Se hacen en tiempo real, interpolaciones para hallar los valores de estas variables o funciones.

Dentro de la campana, la obtención de las funciones de estado es más fácil y directa ya que conociendo la temperatura, se hace una interpolación por cuadrados mínimos con una función de tercer grado con cuatro puntos sucesivos sobre cada una de las curvas de saturación para obtener los valores a esa temperatura. Luego, por cálculo directo se obtiene el título del vapor húmedo y se calculan las funciones de estado dentro de la campana con las relaciones termodinámicas habituales.

Fuera de la campana, es decir en la zona de vapor sobrecalentado, el proceso de interpolación se hace en etapas. Los datos están dados a intervalos regulares de temperaturas y a intervalos crecientes de presiones y corresponden a puntos de isotermas y de isobaras. Un estado cualquiera tomado al azar no va a coincidir con datos exactos ni de presión ni de temperatura.

Para un estado “e”, del que sólo se conocen su temperatura y entropía, se buscan 16 estados cercanos de la base de datos que tiene todos los valores de las variables en juego: temperatura (t), presión (P), volumen (v), energía interna (u), entalpía (h) y entropía (s). Los 16 estados corresponderán a 4 isotermas y a 4 isobaras, numerados de 1 a 16 (Figura 2).

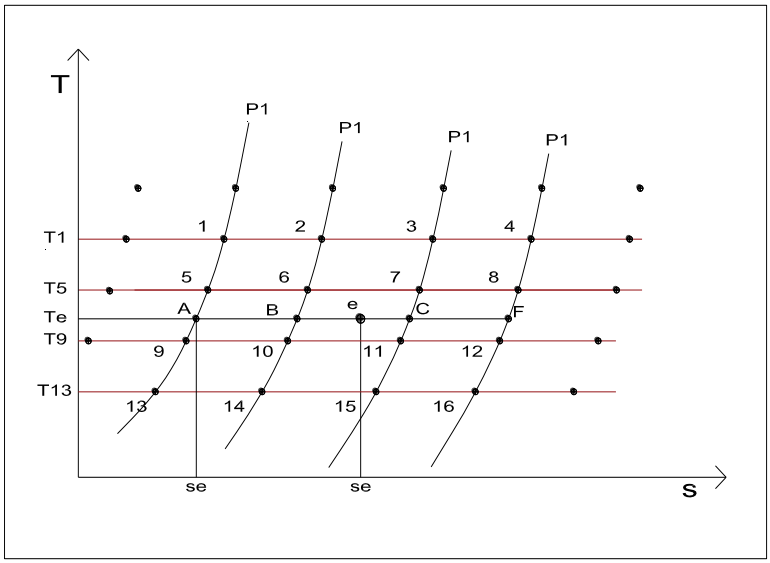


Figura 2. Representación para el cálculo de interpolación en la obtención de parámetros del estado”e”.

Deben ser los estados más cercanos al estado “e” que cumplan las siguientes condiciones:

$$s_6 < s_e < s_7 \qquad (1)$$

$$s_{10} < s_e < s_{11} \qquad (2)$$

$$t_9 < t_e < t_5 \qquad (3)$$

En algunos casos especiales se toman condiciones distintas, pero similares, como en las proximidades de la saturación o como en los límites del diagrama o de la base de datos.

Se toman los valores de los 4 estados a la presión P_1 y mediante cálculos de regresión se construye una función de tercer grado del tipo

$$s_{(P1)} = a + b\,t + c\,t^2 + d\,t^3 \qquad (4)$$

que representa el valor de la entropía a la presión P1 en función de la temperatura, válida para el entorno comprendido entre t_5 y t_9 . Así se determina el valor de la entropía s_A a la presión P_1 y temperatura t_e. En forma semejante se opera para obtener los valores de entropía s_B, s_C y s_F . Con el mismo procedimiento se obtienen los valores de entalpías (h), energías internas (u) y volúmenes específicos (v) de los estados “A”, “B”, “C” y “F”. Así se conocen todos los parámetros de estos cuatro

nuevos puntos o estados. Con estos resultados se construyen finalmente las funciones de tercer grado correspondiente a la isoterma t_e mediante cálculos de regresión:

$$p_{(te)} = a_1 + b_1\, s + c_1\, s^2 + d_1\, s^3 \qquad (5)$$

$$h_{(te)} = a_2 + b_2\, s + c_2\, s^2 + d_2\, s^3 \qquad (5)$$

$$u_{(te)} = a_3 + b_3\, s + c_3\, s^2 + d_3\, s^3 \qquad (6)$$

$$v_{(te)} = a_4 + b_4\, s + c_4\, s^2 + d_4\, s^3 \qquad (7)$$

Con estas funciones se determinan los valores de entalpía, energía interna y volumen del estado “e” indicado por el cursor del “mouse”.

Mediante procedimientos semejantes se obtienen puntos del diagrama correspondientes a las curvas de presión, volumen, entalpía y título o calidad del vapor húmedo para trazar las isobaras, isocoras, isoentálpicas y de igual título que pasan por el punto del cursor, esto es, del estado “e”.

Al mover el cursor con el “mouse”, en tiempo real, se borran líneas y puntos del estado anterior y se dibujan las del nuevo estado, dando la sensación de movimiento o animación. También se modifican los valores de los parámetros. A las variables ya indicadas se le agregan en forma numérica, el factor de compresibilidad (Z) y las exergías de la masa y del flujo de vapor, tomando como referencia el estado muerto (agua líquida a 101.3 kPa y 25°C). El sistema de cálculo contempla la economía de recursos informáticos para darle la rapidez de reacción suficiente, viendo los resultados al mismo tiempo que el movimiento dado al “mouse”.

El programa fue desarrollado en Microsoft Visual Basic 6 (VB6) (Alan Cooper,1998). Es un lenguaje de programación dirigido por eventos. Este lenguaje es un dialecto de BASIC con importantes agregados.

3. UTILIZACIÓN DEL SOFTWARE EN LA CLASE PRÁCTICA

Dentro del curso de grado de la materia Termodinámica de Ingeniería Industrial en la UCA, al abordar el tema “Substancias Puras” se hace la presentación con la teoría general, las tablas de vapor y el diagrama Ts del agua. Aquí es donde aparece el Software en clase, presentando el software “Diagrama Ts Animado del Agua”.

Se muestra en la pantalla del proyector, la imagen, donde se explica que lo que están viendo es la evolución del diagrama Ts de papel, cuya ordenada es temperatura (T), la abscisa entropía (s), y con ellas las zonas y propiedades generales del diagrama (Figura 3).

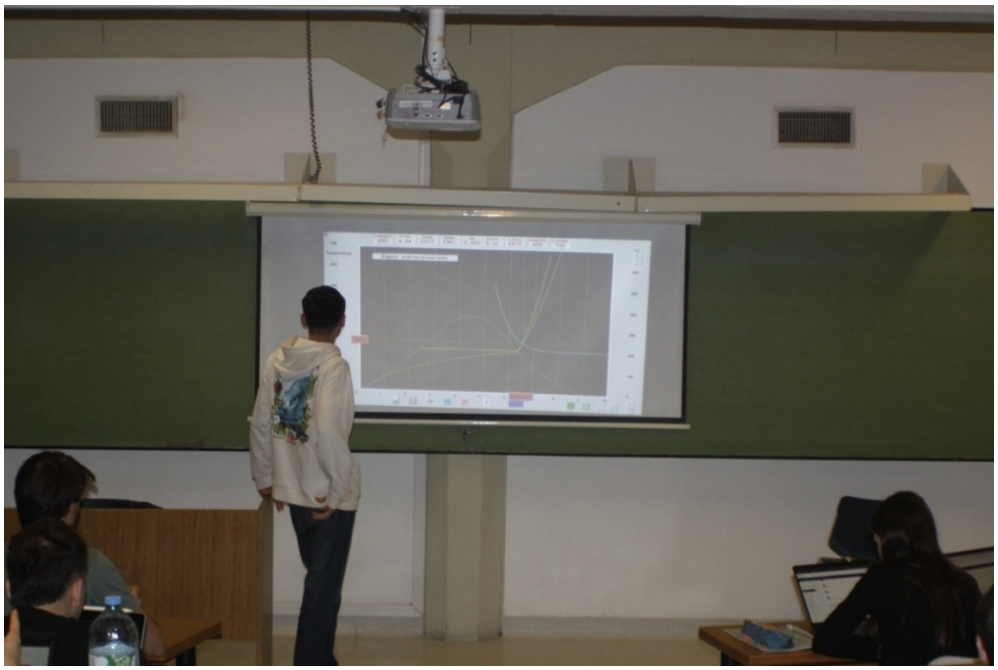


Figura 3. Trabajo en case con el Diagrama Animado.

Con el “mouse” se mueve el estado y simultáneamente se muestran en forma destacada las principales funciones de estado, a saber: temperatura, entropía, presión, entalpía, volumen específico y título si es vapor sobrecalentado. También se muestran los valores de energía interna, del coeficiente de compresibilidad del vapor, y las exergías del H_2O como sistema cerrado y como flujo.

El primer atractivo es el ahorro del trabajo para el cálculo de las propiedades de los estados. En este punto es frecuente la pregunta: ¿se pueden ingresar numéricamente, la temperatura y la presión? La respuesta es NO. Y no es por una limitación técnica sino porque pretendemos que el alumno sepa ubicar el estado como lo haría en un diagrama de papel, mirando y razonando.

Las dificultades propias de un diagrama en papel limitan su aplicación (Figura 4). Si se requiere mayor precisión debe aumentarse el número de líneas y al mismo tiempo se entorpece su seguimiento. Muchas veces se cuida la gráfica impresa y se evita dibujar puntos o referencias con lo que resulta más difícil su uso. A pesar de esto el uso de este diagrama ayuda mucho a la comprensión de la naturaleza del agua y de los cambios sufridos en las transformaciones. Esto último es lo que no se pierde en el uso del diagrama animado.

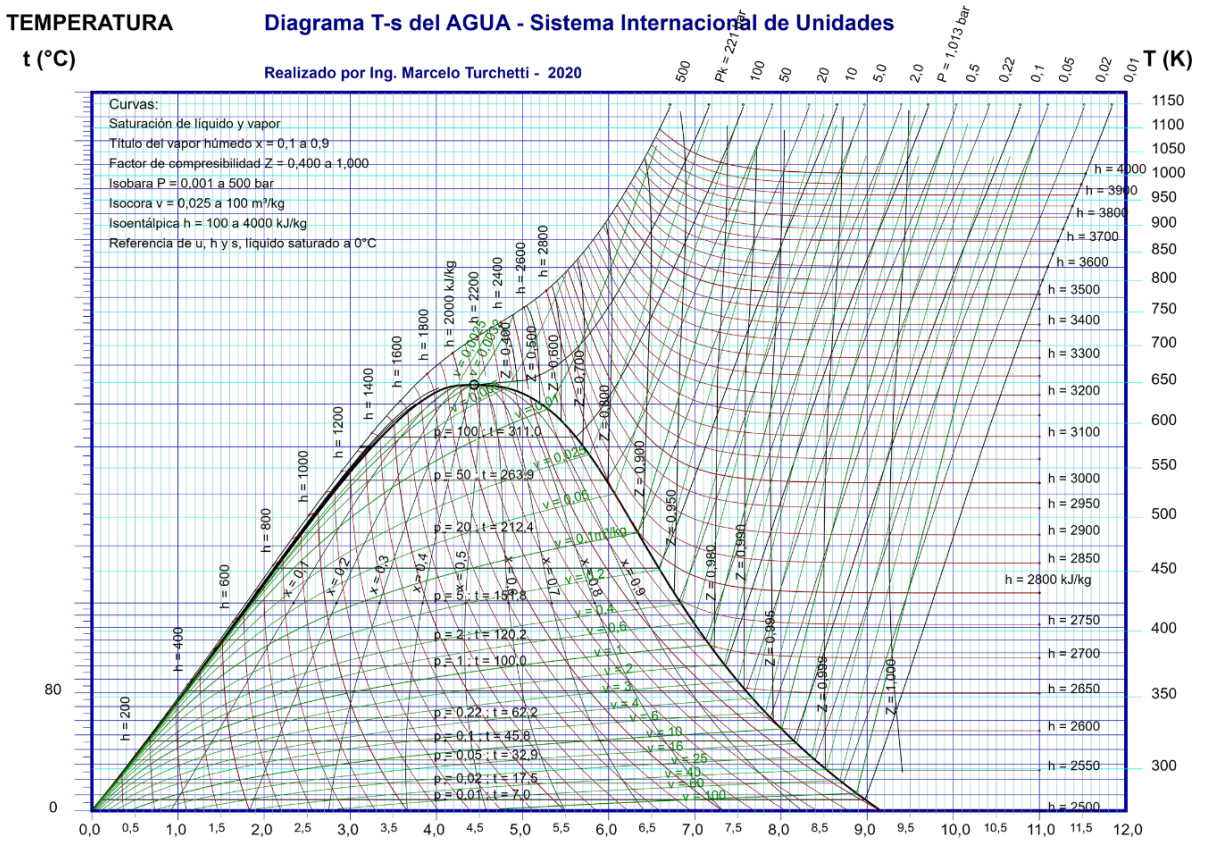


Figura 4. Diagrama Temperatura-Entropía del Agua en papel.

En la clase, se pide a un alumno manejar la computadora para que establezca un estado dado por una temperatura de por ejemplo 250°C y una entalpía de 2900 kJ/kg. Notamos que el uso del programa no es difícil de comprender.

Luego, haciendo pasar a otros alumnos se les pide otros estados determinados por distintos parámetros, como entropía y presión. En algunos casos se recuerda cómo se haría para determinar el estado sin disponer del software ni el diagrama de papel, con lo cual se logra entusiasmar al alumno en el uso del software. También se proponen ensayar transformaciones diversas, obteniendo datos rápidamente y necesariamente comprendiendo el procedimiento.

4. USO DEL DIAGRAMA

Cada estado buscado se fija con un “clic” y se muestra en la parte superior de la pantalla una tabla de valores de propiedades de cada uno de los estados seleccionados y del estado en que se encuentra el cursor.

A continuación, aprovechando que el alumno ha observado la dificultad de precisar la posición de un estado con el “mouse”, especialmente al hacer “clic”, se muestra una manera alternativa de mover el cursor con las teclas de dirección (Figura 5). El “mouse” da libertad y rapidez, mientras que las teclas dan mayor precisión y seguridad.

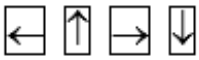


Figura 5. Teclas de dirección para movimiento preciso del cursor.

Al definir dos o más estados se establece un camino o transformación entre ellos y en la tabla de valores aparecen las variaciones de parámetros sufridas en cada evolución como la variación de entalpía, entropía, etcétera. En clase, se explica cómo esto simplifica los cálculos de los procesos.

Se propone un problema de la guía de trabajos prácticos de la materia y se encara su resolución mediante el uso del diagrama animado. Se hace hincapié en las características de cada proceso mostrando la forma de aplicar la herramienta informática. A medida que se dan los ejemplos aparecen dificultades y se aprovecha en cada caso a mostrar el modo de resolverla; así se muestran las diversas funciones del software. Además de las transformaciones a temperatura y entropía constantes, pueden limitarse los movimientos a isobaras, isocoras e isoentálpicas. Otras evoluciones interesantes: a volumen constante, isoentálpicas.

Se trata de mostrar al alumno cómo encontrar un estado a partir de los datos disponibles razonando las relaciones entre los distintos parámetros, pero también se muestra cómo proceder aplicando el método de tanteo. Por ejemplo, si a partir de un estado 1 se desea representar una evolución con una dada característica definida; bastará con modificar el estado 2 hasta encontrar el resultado deseado que cumpla con la condición.

El entorno de trabajo resulta atractivo y motiva al alumno. El aprendizaje de los procesos y la facilidad de cálculo nos habilitó para aumentar el grado de dificultad de los problemas planteados y permitiendo además abordar problemas de soluciones abiertas donde el alumno tiene que proponer los procesos para llegar a la resolución.

5. CONCLUSIONES

La herramienta presentada no solo facilita un notable ahorro en el trabajo de cálculo, sino que también transforma la experiencia de aprendizaje en termodinámica. Su dinamismo y atractivo visual permiten a los estudiantes interactuar con el diagrama de manera intuitiva, promoviendo una comprensión más profunda de las relaciones entre las propiedades termodinámicas del agua. La implementación del software en las clases ha resultado en una mayor participación y entusiasmo por parte de los alumnos. Además, este software actúa como un recurso invaluable para el desarrollo profesional, ofreciendo a los futuros ingenieros una herramienta que simula situaciones reales en su campo. A medida que avanzamos, sería beneficioso considerar la inclusión de nuevas funciones, como simulaciones de procesos más complejos o la integración con otras plataformas educativas.
En resumen, la tecnología tiene el potencial de revolucionar la enseñanza de la termodinámica, y este software es un paso significativo en esa dirección.

6. REFERENCIAS

Cengel Y. A., Boles M. A. (2019). Termodinámica (9a. ed.). México: McGraw-Hill Interamericana.

Parry, W. T. (2014). ASME International Steam Tables for Industrial Use: Based on the IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam (IAPWS-IF97). Estados Unidos: ASME.

Alan Cooper, (1998). Visual Basic 6 (VB6). Microsoft.

"EL PERFIL DEL INGENIERO INDUSTRIAL EN LA ERA DIGITAL: UN ANÁLISIS DE LAS COMPETENCIAS NECESARIAS PARA DESARROLLARSE DENTRO DE LA INDUSTRIA 4.0"

Gómez, Mónica; Cocci Olea, Nazareno; Deschutter, Nahuel; Jara, Facundo

Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales - Universidad Nacional de Córdoba
monica.gomez@unc.edu.ar; nazareno.cocci@unc.edu.ar: nahueldeschutter001@mi.unc.edu.ar; facundo.jara@mi.unc.edu.ar

RESUMEN

Este artículo surge de un proyecto de investigación sobre competencias estratégicas profesionales y empresariales con enfoque en la Ingeniería Industrial. En dicho trabajo, se realizó una investigación sobre competencias que necesitan las empresas para su funcionamiento orientadas a la gestión, cuyo objeto de estudio fueron las competencias de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la UNC y de las empresas.

A partir de este primer estudio, se ha observado una mayor necesidad de competencias vinculadas a la transformación digital, planteando así un nuevo proyecto con el objetivo principal de relacionar competencias en la formación académica y necesidades de las empresas en relación a la transformación digital.

Se plantea llevar a cabo un relevamiento del contenido académico actual, vinculado a las tecnologías de la Industria 4.0 y la transformación digital, y a su vez, explorar las necesidades que poseen las empresas, censando las actividades profesionales que llevan a cabo los egresados de la carrera.

El objetivo de este relevamiento es estudiar el perfil profesional real de los actuales Ingenieros Industriales de la FCEFYN, y descubrir los conocimientos vinculados a las nuevas tecnologías faltantes en la carrera, a fin de poder incorporar aquellos necesarios en los futuros profesionales para potenciar el perfil e impulsar las actividades económicas y el desarrollo de las naciones.

Palabras Claves: competencias, ingeniería industrial, transformación digital, industria 4.0.

ABSTRACT

This article arises from a research project on professional and business strategic competencies with a focus on Industrial Engineering. In this work, a research was carried out on competencies that companies need for their operation oriented to management, whose object of study were the competencies of students of the Industrial Engineering career of the Faculty of Exact, Physical and Natural Sciences of the UNC and of companies.

From this first study, a greater need for skills linked to digital transformation has been observed, thus proposing a new project with the main objective of relating skills in academic training and the needs of companies in relation to digital transformation.

It is proposed to carry out a survey of the current academic content, linked to Industry 4.0 technologies and digital transformation, and in turn, explore the needs of companies, censusing the professional activities carried out by graduates of the career.

The objective of this survey is to study the real professional profile of the current Industrial Engineers of the FCEFYN, and to discover the knowledge related to the new technologies missing in the career, in order to be able to incorporate those necessary in future professionals to enhance the profile and promote economic activities and the development of nations.

Keywords: skills, industrial engineering, digital transformation, industry 4.0.

1. INTRODUCCIÓN

En este documento se presenta una de las partes constitutivas de un proyecto de investigación en proceso, enmarcado en el campo de las competencias de los ingenieros industriales. A partir del libro Rojo del Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI) y de los nuevos estándares de ingeniería aprobados por el Ministerio de Educación, se considera interesante profundizar en el análisis de las competencias de los estudiantes y los egresados. También, analizar las necesidades de las organizaciones del medio donde luego se desempeñarán los graduados de la carrera de ingeniería industrial de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (FCEFyN) de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC) (Cocci Olea, Ciuffolini, Deschutter, & Gómez, 2023).

Esta inquietud dió origen a un primer proyecto, ya concluido, cuyo objetivo fueron las competencias de gestión. Como continuación del mismo, surge el actual proyecto, orientado a las competencias en "nuevas tecnologías". Esta expresión constituye el marco de una investigación del estado del arte en la temática y de otras actividades de relevamiento.

La importancia e impacto de este trabajo, remarca la necesidad actual que tiene la matriz productiva mundial, y sobre todo la de Argentina, de desarrollar e incorporar a profesionales que posean las habilidades competentes para la gestión de tecnologías innovadoras dentro del campo industrial, como herramienta principal para la conducción y desarrollo de la transformación digital de dicha matriz, que incipientemente ha comenzado hace algunos años (Gómez M. C., 2022) . Cada vez se hace más notable la relación directa entre la dinámica económica y el nivel de innovación de las empresas, las regiones y los países. Sin embargo, una de las principales restricciones que tiene el sector tecnológico argentino para seguir creciendo es la disponibilidad de personal capacitado (Deschutter, Ciuffolini, Cocci Olea, Gómez, & Rigazio, 2021).

En función de lo expuesto, particularmente este artículo presenta el desarrollo teórico de una herramienta de relevamiento de información sobre competencias tecnológicas en graduados de la carrera de ingeniería industrial de FCEFYN de la UNC.

El objetivo de este relevamiento es estudiar el perfil real de los egresados en la actualidad y descubrir los conocimientos vinculados a las nuevas tecnologías faltantes en la carrera. Se espera que este relevamiento suministre datos actuales sobre las tecnologías que usan los graduados en su labor profesional diaria. De esta misma información en función del ámbito de desempeño, se explorarán las necesidades de las empresas u organizaciones.

Para finalizar, este artículo presenta el desarrollo de la herramienta de relevamiento, su discusión y los pasos que se propone este equipo de trabajo para continuar la exploración y análisis.

Paralelamente, se realizará un análisis de los programas de las materias de la currícula, identificando las competencias que debieran adquirir los estudiantes en el cursado y la bibliografía utilizada. Para luego seguir con la implementación de la herramienta de relevamiento, el estudio de los resultados y la comparación posterior con la propuesta académica, lo cual es objeto de otro artículo.

2. MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

A continuación, se presenta un marco teórico amplio sobre el tema en estudio "nuevas tecnologías" y el marco metodológico para la exploración en el campo. El encuadre conceptual se profundiza luego, con un mayor grado de especificidad, en las fases 3 y 4 del diseño de la investigación, en la sección 3, desarrollo.

La transformación digital representa un cambio paradigmático en la forma en que las organizaciones operan, impulsado por la convergencia de tecnologías como el internet, los datos masivos y la inteligencia artificial (Schwab, 2017). Este proceso ha dado lugar a nuevos modelos de negocio y ha transformado industrias enteras, demandando un nuevo perfil de profesional.

Dentro de este contexto, la Industria 4.0 y la Industria 5.0 representan etapas sucesivas de esta transformación. La Industria 4.0 se caracteriza por la fusión de tecnologías digitales y físicas en los procesos de producción, lo que permite una mayor automatización, personalización y eficiencia (Lee & Lee, 2015). El Foro Económico Mundial define la Industria 4.0 como la cuarta revolución industrial, basada en tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA), el big data y la robótica (World Economic Forum, 2023). Por su parte, la Industria 5.0 busca humanizar la producción

y poner a las personas en el centro de los procesos industriales, fomentando la sostenibilidad y la ética (Rifkin, 2014).

En cuanto a las tecnologías comprendidas en la transformación, existen diversos puntos de vista y muchas discusiones al respecto por lo que es oportuno tomar como referencia el planteo de Basco (2018) de 10 pilares tecnológicos de la Industria 4.0 (Basco, Beliz, Coatz, & Garnero, 2018):

- Sistemas de Integración de Información
- Máquinas y sistemas autónomos
- Internet de las cosas (IoT)
- Manufactura Aditiva
- Big Data y análisis de Datos
- Computación en la nube
- Simulación de entornos Virtuales
- Inteligencia Artificial
- Ciberseguridad
- Realidad Aumentada

En continuidad con este encuadre conceptual, un informe del BID (Albrieu, y otros, 2019) presentó un trabajo realizado sobre 307 empresas argentinas cuyos resultados identificaron tres grupos de empresas:

- Un pequeño conjunto de 6% que a pesar de no ser enteramente 4.0 se encuentran próximas a la cima tecnológica, denominados Cóndores.
- Un grupo intermedio de 45% que se caracteriza por emplear tecnologías de desarrollo medio y ser activas para cerrar las brechas que las separan de las fronteras tecnológicas. Los que se denominan en este informe como Alpinistas.
- Por último, en la cola tenemos casi el 50% de empresas que usan tecnologías de primera y segunda generación y parecen inactivas frente al cambio tecnológico. Que serían los Trekkers.

Dicho informe evidenció que en términos de adopción tecnológica, la travesía hacia la industria 4.0 en Argentina estaba dando sus primeros pasos, y que se esperaba una demanda de habilidades para los siguientes cinco años.

Por su parte, el trabajo de Hirs-Garzón y Vargas (2023) expone que el aprovechamiento de las tecnologías digitales es una oportunidad para que la región de América Latina y el Caribe, pueda comenzar a cerrar la brecha de ingresos y productividad que tiene respecto de los países de mayor ingreso de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (Hirs-Garzón & Vargas, 2023).

La naturaleza disruptiva de los cambios tecnológicos del momento aumenta la importancia de contar con capacidades para adaptarse, colaborar con equipos de trabajo y pensar en forma creativa sobre nuevos problemas, entre otras habilidades blandas que ayudan a las personas a reaprender ante los cambios en el trabajo (Albrieu, y otros, 2019).

Por otro lado, Martha Alles, reconocida experta en gestión del talento, propone un modelo de competencias que se alinea perfectamente con las necesidades de los ingenieros industriales en la era digital. Según esta autora, las competencias se dividen en tres grandes categorías (Alles, 2015):

- Competencias técnicas: Conocimientos específicos de la disciplina, como la ingeniería industrial, y habilidades técnicas relacionadas con las tecnologías digitales.
- Competencias comportamentales: Habilidades sociales, emocionales y de comunicación que permiten trabajar en equipo, resolver conflictos y liderar.
- Competencias conceptuales: Capacidad para comprender el contexto empresarial, analizar situaciones complejas y tomar decisiones estratégicas.

Estas competencias son fundamentales para que los ingenieros industriales puedan adaptarse a los cambios constantes del entorno y desempeñar un papel protagónico en la transformación digital de las organizaciones.

Esta sección pretende plantear el enfoque conceptual de las nuevas tecnologías y su integración con el concepto de competencias. En la siguiente subsección, se propone la metodología de trabajo a seguir para el objetivo de este documento.

2.1. Análisis del marco metodológico

En cuanto al marco metodológico, se propone un proceso de investigación de enfoque cuantitativo, en términos generales, lo cual conlleva a la necesidad de plantear un problema concreto y acotado de estudio, construyendo un marco teórico mediante la revisión de la literatura ad hoc. Para llevar a cabo este tipo de investigación, Hernández Sampieri y Mendoza Torres (2018) sugieren 10 pasos o fases a seguir:

Fase 1. Descripción de la idea y contextualización.

Fase 2. Planteamiento del problema: es decir proceso por el cual se debe afinar, precisar y estructurar la idea de investigación, lo cual involucra mayor formalización y delimitación en el caso del enfoque cuantitativo. Para llevar a cabo esta fase se planteará una pregunta problema y objetivos para delimitar el estudio.

Fase 3. Revisión de la literatura y desarrollo del marco teórico.

Fase 4. Visualización del alcance del estudio: en función del planteamiento del problema, definir si el alcance será de tipo: exploratorio, descriptivo, correlacional-causal, o explicativo.

Fase 5. Elaboración de hipótesis y definición de variables: que se establecerá en función del alcance definido.

Fase 6. Desarrollo del diseño de investigación: este se puede clasificar en investigaciones experimentales y en investigaciones no experimentales. A su vez, esta última puede clasificarse en transversal (recolección de datos en un solo momento determinado) y longitudinal, siendo su característica la recolección de información en varios momentos. Los diseños de investigaciones no experimentales transversales pueden clasificarse en correlaciones-causales, descriptivos y/o exploratorios, siendo este último aquellos que tienen como fin comenzar a familiarizarse con un fenómeno en un momento específico (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018).

Fase 7: Definición y selección de la muestra: en esta etapa, se debe determinar la unidad de muestreo, delimitar la población o universo, seleccionar la estrategia de muestreo adecuada para mantener su representatividad estadística, calcular el tamaño de la muestra adecuada y seleccionar las unidades de muestreo a analizar, es decir lograr inmersión inicial en el campo.

Fase 8: Recolección de los datos: cualquier método o táctica de investigación necesita, en última instancia, reducir constructos, conceptos, ideas o hipótesis a datos. En este proceso de operativización entran de lleno las técnicas. Estas técnicas van a estar muy relacionadas con todo aquello que tenga que ver con instrumentos y procedimientos para transformar hechos concretos en datos significativos.

Fase 9: Análisis de los datos obtenidos

Fase 10: Elaboración de reporte de resultados.

En la siguiente sección se desarrollan estas fases profundizando cada una de ellas e introduciendo la investigación.

3. DESARROLLO

Esta sección se propone describir el trabajo que está llevando a cabo este equipo de investigación, para el armado de la herramienta de relevamiento. Se explica la estrategia de investigación y sus pasos para determinar el diseño más apropiado.

3.1. Fase 1 y 2: Idea y Planteamiento del problema

En la actualidad, se considera que el aporte de las tecnologías de la información a la productividad y competitividad de las empresas es de gran importancia. Este paradigma, englobado en términos como “Industria 4.0” o “Transformación digital” supone la necesidad de incorporar nuevos perfiles profesionales que tengan la capacidad de gestionar dichos recursos y la innovación empresarial que su implementación conlleva (Gómez M. , 2023).

La idea de este estudio también presenta antecedentes en las charlas y trabajos realizados por la Asociación Argentina de Estudiantes de Ingeniería Industrial y carreras afines (AAREII) que a través de distintas actividades establece contacto fluído con estudiantes, academia e industria. El Congreso Argentino de Estudiantes de Ingeniería Industrial y carreras afines (CAEII) es el evento más convocante organizado por AArEII, el cual reúne anualmente a estudiantes de Ingeniería Industrial y diversas carreras de todo el país con el fin de complementar la formación de los futuros ingenieros. Para cumplir con esta premisa, durante el desarrollo del mencionado congreso se llevan a cabo talleres, visitas técnicas y conferencias sobre temáticas que normalmente no se tratan en los planes de estudios de la carrera. Con el objetivo de detectar qué temas son relevantes para el estudiantado, año tras año, desde AArEII se realiza un relevamiento a través de los representantes de cada universidad, para luego, a partir de ello, plantear los pilares académicos a utilizar en los diferentes eventos. Particularmente, desde la primera edición post pandemia en 2022, hasta la reciente en 2024, predominaron temáticas referidas a la Industria 4.0, la sostenibilidad, la salud mental y la innovación. Se trabajaron pilares como: logística 4.0, evolución tecnológica en los ámbitos de trabajo, construcción de un futuro sostenible, innovación y futuro, liderazgo transformacional, equilibrio mental en la ingeniería. Es relevante destacar que de los últimos 12 pilares trabajados, seis tienen relación con la Industria 4.0, repitiendo conceptos como Inteligencia Artificial, Internet de las Cosas, robótica o big data. El resto de los pilares se relacionan con las demás temáticas mencionadas previamente.

En este contexto y con estos antecedentes, se ha propuesto profundizar sobre las actividades de los profesionales de Ingeniería Industrial egresados de la UNC y su vinculación con las tecnologías de la Industria 4.0:

¿La formación actual, brindada en la carrera de grado, permite el desempeño habitual del Ingeniero Industrial en entornos donde se utilicen tecnologías 4.0?

Para responder esta pregunta, se han propuesto los siguientes objetivos:

- Determinar si actualmente, los egresados de la carrera de Ingeniería Industrial de la UNC utilizan tecnologías de la Industria 4.0 en su actividad profesional.
- Determinar cuál es el grado y/o frecuencia de uso de dichas tecnologías en su actividad profesional.
- Establecer cuál es el conocimiento brindado en la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional de Córdoba respecto a las tecnologías de la Industria 4.0.
- Contrastar los conocimientos necesarios para explotar las tecnologías de la Industria 4.0 con los conocimientos aprendidos en la carrera de grado.

El propósito de este estudio es evaluar, de manera objetiva, si la formación actual brindada por la carrera de ingeniería industrial de la FCEFyN condice con el cambio de paradigma dentro de la industria, brindando herramientas que permitan a los actuales y futuros profesionales el desempeño de las actividades profesionales que demanda actualmente el mercado, vinculado a las tecnologías de la digitalización y la Industria 4.0.

Realizando un análisis preliminar de materias dictadas durante los años más avanzados de la carrera, se observa a nivel general que la bibliografía no se encuentra actualizada. La mayoría corresponde a ediciones comprendidas entre los años 1990 y 2014, prácticamente sin existencia de material relacionado a Industria 4.0 o conceptos similares. De veintidós asignaturas, únicamente cuatro de ellas cuentan con bibliografía afín a la temática considerada (el 18,18%). Estas cuatro asignaturas son: “Organizaciones e Industrias”, que contiene dos libros relacionados a conceptos de Industria 4.0, siendo uno de ellos del año 2016; Mercadotecnia, que incluye un libro que habla sobre el marketing 4.0; Costos Industriales, con material que habla sobre la utilización de Excel para la confección de presupuestos: Gestión de Servicios, con un libro relacionado a datos digitales, sin embargo con fecha de edición del año 2001 e “Innovación Tecnológica en Ingeniería Industrial”, la cual cuenta con bibliografía diversa y actualizada sobre Industria 4.0, destacándose resalta como la única en hacerlo.

A partir de lo anterior, puede suponerse que la formación de los actuales estudiantes en conceptos de la transformación digital es mínima, contando con escaso contenido y pocas horas de tratamiento del tema. Sin embargo, es necesario profundizar el análisis para confirmarlo.

3.2. Fase 3 y 4: Elaborar el marco teórico y Visualización del alcance del estudio

Además de lo planteado en la sección del marco teórico global, que contextualiza el proyecto, más los antecedentes del punto anterior, se presenta en este apartado una selección más específica en cuanto a la relación entre competencias tecnológicas e ingeniería industrial

Con el propósito de establecer un marco de referencia sólido para la investigación sobre las competencias profesionales requeridas por los ingenieros industriales en el contexto de la Industria 4.0, se realizó una revisión sistemática de la literatura específica. A través de la base de datos Web of Science (WoS), se ejecutó una búsqueda exhaustiva utilizando una cadena de términos clave que abarcara los conceptos centrales de la Industria 4.0, las tecnologías digitales y el perfil profesional del ingeniero industrial.

Cadena de búsqueda:

TS=((“information system*” OR “information technolog*” OR “information and communication* technolog*” OR “digital technolog*” OR ict OR “technological innovation” OR “internet of things” OR iot OR cloud OR web OR e-business OR e-commerce OR “enterprise resource planning” OR erp OR “material* requirement* planning” OR mrp OR “electronic data interchange” OR edi OR “radio-frequency identification” OR rfid OR “business intelligence” OR software OR “artificial intelligence” OR “big data” OR “industry* 4.0” OR e-procurement OR “cyber physical system*” OR blockchain OR “augmented reality” OR “virtual reality” OR “additive manufacturing” OR robotic* OR “3D print*” OR cybersecurity OR “industrial simulation” OR “warehouse management system” OR “transportation management system”) AND ("skill*") AND ("Industrial engineer*" OR "Industrial organization"))

La búsqueda se delimitó a documentos publicados en inglés entre los años 2001 y 2022, con el fin de abarcar un periodo de tiempo relevante para el desarrollo de la Industria 4.0.

Como resultado inicial, se obtuvo un corpus de 46 documentos. Sin embargo, tras una minuciosa selección basada en títulos, resúmenes y contenido completo, se redujo el conjunto inicial a solo dos estudios que se ajustaban a los criterios de inclusión establecidos.

- "Industrial Engineering Curriculum in Industry 4.0 in a South African Context" publicado en el journal Sudafricano de Ingeniería Industrial, por los autores Samuel Mensah Sackey y Andre Bester de las universidades Kwame Nkrumah University Of Science and Technology y Academic Institute of Excellence, respectivamente (Sackey & Bester, 2016).
- "Status Quo of Smart Manufacturing Curricula offered by ABET accredited Industrial Engineering programs in the US" publicado en la revista Manufacturing Letters de septiembre de 2022, por los autores Milica Babica, Anna Billeya, Mike Nagerb, Thorsten Wuesta, de la Universidad de West Virginia (Babica, Billeya, Nagerb, & Wuesta, 2022) . Donde ABET (Accreditation Board for Engineering) es una junta de acreditación de ingeniería.

Ambos artículos, constituyen un punto de partida para una revisión de la literatura existente y permiten identificar las principales tendencias y debates en torno a las competencias profesionales del ingeniero industrial en la era digital, entre las cuales se menciona:

- ❖ Ciencia de Datos y Análisis Avanzado (Big Data)
  - Habilidad para evaluar grandes conjuntos de datos de múltiples fuentes.
  - Uso de técnicas de inteligencia artificial y machine learning para el análisis de datos.
  - Métodos de análisis de datos y técnicas de visualización de datos.
- ❖ Simulación Avanzada y Modelado Virtual de Plantas
  - Capacidad para utilizar datos en tiempo real para crear modelos virtuales de plantas.
  - Optimización de operaciones y toma de decisiones en tiempo real mediante simulación.
- ❖ Automatización y Redes de Comunicación de Datos
  - Conocimientos en la automatización de sistemas y redes de comunicación de datos.
  - Controladores lógicos programables (PLC) y sistemas interoperables.
- ❖ Interfaces Hombre-Máquina Novedosas
  - Diseño y optimización de sistemas de realidad aumentada y colaboración humano-robot.
  - Uso de tecnologías como la realidad aumentada y virtual para mejorar la interacción hombre-máquina.
- ❖ Tecnologías de Transferencia Digital a Física (Impresión 3D)
  - Conocimiento en sistemas de impresión 3D y evaluación de la calidad de salida y capacidad del proceso.
  - Aplicación de tecnologías de manufactura aditiva.
- ❖ Sistemas de Control de Calidad Integrados en Bucle Cerrado
  - Gestión de sistemas de control de calidad basados en datos en tiempo real.
  - Implementación de sistemas de control de calidad automatizados y adaptativos.
- ❖ Optimización de Inventarios y Logística en Tiempo Real

  - Uso de tecnologías como sistemas de identificación por radiofrecuencia (RFID) para optimizar la logística y el inventario.
  - Monitoreo y optimización del consumo de energía en procesos de manufactura.
- ❖ Conectividad y Control
  - Conocimientos en sistemas interoperables y control de dispositivos.
  - Integración de sistemas ciberfísicos y el Internet de las Cosas (IIoT).

Particularmente, el artículo "Industrial Engineering Curriculum in Industry 4.0 in a South African Context" analiza las competencias necesarias para los ingenieros industriales en la era de la Industria 4.0 y resalta la importancia de actualizar los planes de estudio, pero se enfoca en el impacto de la Industria 4.0 en la ingeniería industrial en Sudáfrica.

El artículo "Status Quo of Smart Manufacturing Curricula offered by ABET accredited Industrial Engineering programs in the US" analiza la oferta educativa de manufactura inteligente en programas de ingeniería industrial acreditados por ABET e identifica los principales temas cubiertos en los currículos y la proporción de universidades que los ofrecen, pero enfoca la investigación en Estados Unidos.

Si bien los artículos abordan diferentes aspectos de la temática de la Industria 4.0 y la formación de ingenieros industriales, nuestro estudio busca analizar la situación específica de la UNC, y proponer recomendaciones concretas para mejorar la formación de los ingenieros industriales en el contexto de la Industria 4.0. Con este objetivo, se decide llevar a cabo un estudio exploratorio, que permita identificar las brechas existentes y las oportunidades de mejora en la formación de los ingenieros industriales, a través de encuestas y análisis de los planes de estudio de dicha institución.

3.3. Fase 5 y 6: Elaboración de hipótesis, definición de variables y desarrollo del diseño de investigación

Los estudios exploratorios se llevan a cabo cuando el propósito es examinar un fenómeno o problema de investigación nuevo o poco estudiado, sobre el cual se tienen muchas dudas o no se ha abordado antes. Es decir, cuando la revisión de la literatura reveló que tan solo hay guías no investigadas e ideas vagamente relacionadas con el problema de estudio, o bien, si deseamos indagar sobre temas y áreas desde nuevas perspectivas (Hernández-Sampieri & Mendoza Torres, 2018), como es este caso. Los estudios exploratorios tienen la característica de no necesitar el planteamiento de una hipótesis debido a su naturaleza.

Debido a que no se realizan manipulaciones de las variables que influyen en la investigación, y se limitará a observar la utilización de las tecnologías de la industria 4.0 en los entornos profesionales de los Ingenieros Industriales egresados de la FCEFyN, y la formación recibida en dicha institución, se puede afirmar que se realizará una investigación no experimental transversal descriptiva (los datos a analizar son recogidos en un momento determinado y no a lo largo del tiempo, con el fin de estudiar el estado de una o más poblaciones).

3.3.1. Diseño transversal-exploratorio

El diseño es el plan o estrategia para responder a la pregunta problema, incluye actividades tendientes a encontrar respuesta a la pregunta de investigación. Al haber definido un diseño no-experimental transversal recolectamos datos en un solo momento en un tiempo único. Al ser exploratorio comenzamos a conocer el fenómeno

En primer lugar, para poder analizar cuáles tecnologías de la industria 4.0 son utilizadas por los profesionales graduados de ingeniería industrial, es necesario listar aquellas sobre las que se los consultará.

Combinando las que surgen del marco teórico general, planteadas por Basco, y aquellas señaladas en los dos artículos mencionados, a continuación de enumeran y se hace describe brevemente el posible uso de ellas:

- Big Data y Análisis Avanzado: evaluación y análisis de grandes conjuntos de datos, uso de inteligencia artificial y machine learning.
- Simulación y Modelado Virtual: creación de modelos virtuales de plantas y optimización de operaciones en tiempo real.

- Automatización y Control: automatización de sistemas y redes de comunicación, uso de PLC y sistemas interoperables.
- Impresión 3D: conocimiento y aplicación de tecnologías de manufactura aditiva.
- Control de Calidad en Tiempo Real: gestión de sistemas de control de calidad automatizados.
- Optimización de Inventarios y Logística: uso de RFID y monitoreo del consumo de energía.
- Conectividad y IIoT: integración de sistemas ciberfísicos y el Internet de las Cosas.
- Sistemas de Integración de Información: integración de datos y sistemas para mejorar la eficiencia.
- Máquinas y Sistemas Autónomos: uso de robots y sistemas autónomos, y colaboración humano-robot.
- Computación en la Nube: uso de servicios en la nube para almacenamiento y procesamiento de datos.
- Inteligencia Artificial: implementación de algoritmos de IA para mejorar procesos.
- Ciberseguridad: medidas de seguridad para proteger datos y sistemas.
- Realidad Aumentada: uso de tecnologías de realidad aumentada para capacitación y operación.

Una vez definidas las tecnologías, se requiere establecer el grado de utilización de cada una de ellas en la vida profesional de la población indicada, mediante preguntas directas de frecuencia de uso. Para ello, los autores definen un conjunto de variables ordinales en función del tiempo que los encuestados utilizan alguna de las tecnologías mencionadas en su labor diaria. Una vez recolectada esta información, se contrasta con el contenido académico brindado en la carrera.

Las encuestas tienen por objetivo medir el promedio de la frecuencia de uso de las tecnologías de la Industria 4.0, mediante 4 categorías definidas como:

- Todas las semanas en promedio
- De 1 a 3 veces al mes en promedio
- De 2 a 12 veces al año en promedio
- 1 o menos veces al año en promedio

Esta pregunta se repite para cada una de las tecnologías mencionadas con anterioridad, siendo complementada con otras variables que permiten analizar en profundidad la muestra censada, como por ejemplo, edad, género, tamaño de la empresa donde trabajan, rubro, área donde desempeñan su actividad dentro de la empresa, etc

3.4. Fases 7 y 8: Definición y selección de la muestra y Recolección de los datos

La muestra que se utilizará está constituida por egresados de la carrera en los últimos cinco años, desde el año 2018 a 2023, ambos inclusive. Los datos son obtenidos de la Escuela de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ciencias Exactas, Física y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba (FCEFyN, UNC).

Para ello, se utilizará la fórmula de cálculo de muestras para poblaciones finitas:

$$n = \frac{N * z_{\alpha}^{2} * q}{e^{2} * (N-1) + z_{\alpha}^{2} * p * q} \qquad (1)$$

Considerando que los registros indican 251 egresados durante el periodo de tiempo mencionado, y considerando una confianza de 95%, se obtiene que:

N= 251

z= 1,96

e= 0,05

q= 1-p = 0,5

El tamaño de la muestra mínima es de 153 egresados. En caso de no alcanzar una participación de esa cantidad de personas, es posible realizar el mismo cálculo, con un criterio más pesimista, disminuyendo los niveles de confianza, y teniendo en cuenta los mismos parámetros antes mencionados:

Tabla 1 Muestra mínima en función del nivel de confianza.

Nivel de confianza (%)	Muestra Mínima
80	100
85	114
90	131
95	154

Para llevar a cabo la recolección de los datos se utilizará la herramienta “Google Forms” que permite construir y adaptar las encuestas en función de la necesidad del estudio y se puede vincular a hojas de cálculo de manera simple y sencilla para llevar a cabo un análisis de estadística descriptiva.

3.5. Fases 9 y 10: Análisis de los datos obtenidos y Elaboración de reporte de resultados

No se desarrolla en este trabajo ya que se encuentra en proceso de diseño

4. CONCLUSIONES

En esta sección, más que una conclusión, se plantea la discusión respecto al escaso material que profundiza la relación entre las competencias del ingeniero industrial y la Industria 4.0. Como se pudo detectar en la búsqueda de artículos sólo se encontraron dos con un buen análisis entre los temas que se quieren integrar, a pesar de su gran relevancia.

Por otro lado, respecto a las nuevas tecnologías, estrictamente hablando, es necesario también resaltar la dinámica cambiante de las mismas, dentro de la denominada cuarta revolución industrial. Es por esta razón, que para el análisis llevado a cabo en este documento, se hayan valorado únicamente aquellas que actualmente se encuentran en una etapa de gran expansión, dejando de lado aquellas que si bien no han tomado gran relevancia dentro del campo, parecen ser prometedoras en un futuro cercano, como los gemelos digitales o los vehículos no tripulados.

Estas situaciones han llevado a la necesidad de profundizar sobre el estado del arte de la temática planteada, abriendo la posibilidad de desarrollar esta perspectiva en otro artículo.

En una primera instancia, a partir de lo presentado en este trabajo se puede suponer que hoy existe una brecha significativa entre las competencias requeridas por la industria y las que se imparten en las aulas.

En función de lo expuesto, y este nuevo entorno, podría decirse que los ingenieros industriales debieran adquirir un conjunto de competencias que les permita:

- Comprender y aplicar tecnologías digitales
- Diseñar y gestionar sistemas ciberfísicos
- Analizar datos
- Trabajar en equipos multidisciplinarios
- Desarrollar pensamiento crítico y creativo
- Promover la sostenibilidad y la ética

Con la intención de abordar lo anteriormente expresado, se están trabajando algunas de las siguientes acciones sumadas a otras en un futuro cercano: actualizar los planes de estudio, fomentar la colaboración con la industria, promover la formación continua y desarrollar competencias blandas.

5. REFERENCIAS

Albrieu, R., Basco, A., Brest López, C., De Azevedo, B., Peirano, F., Rapetti, M., & Vienni, G. (2019). *Travesía 4.0. Hacia la Transformación Industrial Argentina.* Argentina: Banco Interamericano de Desarrollo.

Alles, M. (2015). *Desarrollo de competencias. Un modelo para la gestión del talento humano.* Buenoas Aires: Gran Aldea.

Babica, M., Billeya, A., Nagerb, M., & Wuesta, T. (2022). Status Quo of Smart Manufacturing Curricula offered by ABET accredited Industrial Engineering programs in the US. *Manufacturing Letters* , 944-951.

Basco, A. I., Beliz, G., Coatz, D., & Garnero, P. (2018). *Industria 4.0: Fabricando el Futuro.* Argentina: Banco Interamericano de Desarrollo.

Cocci Olea, N., Ciuffolini, L., Deschutter, N., & Gómez, M. (2023). Competencias de gestión estratégica en estudiantes de Ingenieria Industrial. En A. Neuenfeldt Júnior, *Report, Anais XXI SEPROSUL. Technical.* Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) Brasil.

Deschutter, N., Ciuffolini, L., Cocci Olea, N., Gómez, M., & Rigazio, R. (2021). La Vinculación Universidad, Empresa Y Estado, Como Marco Para El Desarrollo De Competencias Profesionales. En L. Fernández Luco, *Actas Congreso Argentino y Latinoamericano de Ingeniería 2021: CADI CLADI CAEDI 2021.* Buenos Aires: CADI CLADI CAEDI 2021.

Gómez, M. (2023). Competencias de los ingenieros industriales en la era de la transformación digital. Em F. R. San Nicolás UTN, *Libro de resúmenes del XVI Congreso Internacional de Ingeniería Industrial – COINI 2023.* (p. 140). San Nicolás: AJEA (Actas De Jornadas Y Eventos Académicos De UTN), (AJEA 30).

Gómez, M. C. (2022). El conocimiento organizacional como base del desarrollo productivo. En A. O. Morcela, *XV Congreso Internacional de Ingeniería Industrial y Afines.* Mar del Plata: Universidad Nacional de Mar del Plata.

Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativas, cualitativas y mixtas.* McGraw-Hill.

Hirs-Garzón, J., & Vargas, F. (2023). *Prioridades para la digitalización empresarial en América Latina y el Caribe.* Washington: Banco Interamericano de Desarrollo.

Lee, J., & Lee, B. (2015). Industry 4.0 and smart factories: Key technologies and trends. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 303-310.

Rifkin, J. (2014). *The Zero Marginal Cost Society: The Internet of Things, the Collaborative Commons, and the Eclipse of Capitalism.* Palgrave Macmillan.

Sackey, S., & Bester, A. (2016). Industrial Engineering Curriculum In Industry 4.0 In A South African Context. *South African Journal of Industrial Engineering*, 101-114.

Schwab, K. (2017). *The Fourth Industrial Revolution.* New York: Crown Business.

World Economic Forum. (2023). *Future of Jobs.* Ginebra: World Economic Forum.

"EXPERIENCIA INTERFACULTADES PARA LA FORMACIÓN POR COMPETENCIAS GENÉRICAS Y ESPECÍFICAS DE LA INGENIERÍA INDUSTRIAL"

Gallegos, M. Laura[(1)]; Cinalli, Marcelo[(1)]; Hetze, Vanesa[(1)]; Vecchi, Carlos[(2)]

[(1)] Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional San Nicolás (UTN-FRSN)
[(2)] Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Nordeste (FCA-UNNE)
mgallegos@frsn.utn.edu.ar

RESUMEN

A partir de la visita de estudiantes de quinto nivel de la carreta de ingeniería industrial de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Nordeste (FCA UNNE) a la UTN - Facultad Regional San Nicolás (FRSN), se complementó la misma con una clase presencial interfacultades. Este trabajo describe la experiencia de una dinámica realizada en la UTN FRSN sobre objetivos, indicadores de procesos, oportunidades de mejora y proyectos basada en juegos serios desarrollados por el Grupo de Gestión, Innovación y Mejora continua (GIMCo) perteneciente al Departamento Industrial de FRSN.

La experiencia se basó en la simulación de la producción y conducción de un negocio a través de juegos serios desarrollados por docentes y becarios del GIMCo, integrando las cátedras Ingeniería en Calidad, Control de Gestión y Formulación y Evaluación de Proyectos. La actividad permitió compartir experiencias y puesta en común sobre distintos temas que se cursan en la carrera, y trabajar en la formación por competencias y capacidades profesionales para futuros profesionales de la Ingeniería Industrial de dos regiones de orientación productiva distintas de nuestro país.

Palabras Claves: Interfacultad. Intercátedra. Competencias. Juegos Serios. Gamificación.

ABSTRACT

This work describes the experience of a dynamic carried out interfaculty on objectives, process indicators, improvement opportunities and projects based on serious games developed by the Management, Innovation and Continuous Improvement Group (GIMCo) of the DII.

Fifth-level students of the industrial engineering track of the Faculty of Agrarian Sciences of the Universidad del Nordeste (FCA UNNE) and the UTN San Nicolás Regional Faculty, simulated the production and management of a business through serious games developed by teachers and GIMCo scholarship holders, integrating the Quality Engineering, Management Control and Project Formulation and Assessment chairs. The activity allowed us to share experiences and discuss different topics that are covered in the degree, and work on training in professional skills and abilities for future Industrial Engineering professionals.

Keywords: Interfaculty. Intercathedra. Competencies. Serious Games. Gamification.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es describir la experiencia de una dinámica interfacultad realizada para la formación competencias, en la que se simularon la producción y conducción de un negocio a través de un juego serio desarrollado por docentes y becarios del GIMCo (Gestión, Innovación y Mejora continua), Grupo de Investigación dependiente del Departamento Ingeniería Industrial de Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional San Nicolás.

Estudiantes de quinto nivel de la carrera de ingeniería industrial de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Nordeste (FCA UNNE) y de la Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional San Nicolás (UTN FRSN), participaron de un juego serio planificado para ser aplicado en el espacio de una clase presencial compartida, que permitió integrar las materias Ingeniería en Calidad (UTN-FRSN), Formulación y Evaluación de Proyectos (FCA UNNE) y Control de Gestión (UTN-FRSN).

En la búsqueda de promover la participación en actividades de extensión, para la formación práctica de los estudiantes a través de proyectos interdisciplinarios que estimulan la calidad educativa y el aprendizaje colectivo, la actividad permitió compartir experiencias y la puesta en común sobre los distintos temas que se cursan en la carrera y trabajar desde la formación por competencias, las capacidades profesionales de los futuros profesionales de la Ingeniería Industrial.

2. MARCO TEÓRICO

La formación por competencias constituye el marco organizador de la formación académica de las carreras de ingeniería. Según CONFEDI, competencia es "*capacidad de articular eficazmente un conjunto de esquemas (estructuras mentales) y valores, permitiendo movilizar (poner a disposición) distintos saberes, en un determinado contexto con el fin de resolver situaciones profesionales*" (CONFEDI, 2018), señalando capacidades complejas e integradas, relacionadas con conocimientos (teórico, contextual y procedimental), con el saber hacer (formalizado, empírico, relacional), con el contexto de la labor (escenario en donde ejercer) y referidas al desempeño (modo en que actúa un profesional técnicamente competente y socialmente comprometido). (CONFEDI, 2018) La resolución 1908/22 de la UTN define Competencias Específicas (CE), Competencias Tecnológicas (CT) y Competencias Genéricas (GG), así como las actividades reservadas (AR) y los alcances del título (AL) para la carrera Ingeniería Industrial. (UTN, 1908/22).

La incorporación de estrategias de enseñanza activas, basadas en la experimentación y en el aprendizaje vivencial, juegos serios y gamificación, proponen un enfoque centrado en el estudiante, que motiva el involucramiento y la participación, favoreciendo un escenario ideal para el desarrollo de competencias en la práctica. (Cerrano *et al*, 2018). En trabajos previos, se han desarrollado experiencias lúdicas interfacultades (Cerrano Marta Liliana, 2021) con resultados exitosos en el marco de un proyecto de investigación interfacultad con sede en FCEIA de UNR denominado "Diseño y desarrollo de estrategias didácticas utilizando juegos serios en Ingeniería Industrial" Parte I (IING 522) y parte II (ING628) y en conjunto con UTN FRSN. La experiencia de actividades de diseño y desarrollos lúdicos con FCEIA de UNR sentó bases para afianzar la gestión del conocimiento en la enseñanza y el intercambio para nuevas iniciativas, así como la generación de nuevos proyectos y de actividades de articulación y extensión. Trabajos anteriores de docentes investigadores pertenecientes al grupo GIMCo del Departamento de Ingeniería Industrial de UTN – FRSN, permiten reunir estos antecedentes, entre ellos, el referido al diseño e implementación de una estrategia de enseñanza inter-cátedra que emplea una clase lúdica previa a una visita técnica como herramienta de desarrollo de competencias (Gallegos et al., 2023), y la experiencia de planificación y acción para diseñar una actividad de gamificación intercátedra centrada en el estudiante y por competencias en Ingeniería Industrial (Cinalli et al, 2024).

3. METODOLOGÍA

Se optó por un estudio mixto, cualitativo-cuantitativo (Casas et al., 2017; Hernández Sampieri, 2018, utilizando la metodología de la investigación-acción, que según la conceptualiza Pereira Mello et al. (2012), citado por Paravié, 2017 el término "investigación" se refiere a la producción de conocimiento y el término "acción", a una modificación intencional de una realidad dada. La investigación-acción es una producción guiada de conocimiento a través de la práctica, con la modificación de una realidad dada ocurriendo como parte del proceso de investigación. (Paravié et al, 2017)

La recolección de datos empíricos para relevar la experiencia por parte de los estudiantes y conocer resultados de las actividades previstas, se realiza a través de instrumentos semiestructurados de procesamiento automático.

4. DESARROLLO

4.1 Iniciativa

A partir de una visita institucional programada al parque industrial de la ciudad de San Nicolás, y de la apertura para la articulación entre cátedras de los últimos años de la carrera, surgió la propuesta de integrar tres materias de dos carreras de Ingeniería Industrial de Argentina: Ingeniería en Calidad (UTN FRSN), Control de Gestión (UTN FRSN) y Formulación y Evaluación de Proyectos (FCA UNNE): la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Nordeste (FCA de UNNE) y la Facultad Regional San Nicolás (UTN FRSN).

Se partió de la planificación intercátedra con enfoque en el aprendizaje activo y fundamentalmente práctico, para favorecer la formación por competencias y el aprendizaje en la acción, particularmente por tratarse de materias de tecnologías aplicadas y con un número de orden que las posicionan al final de la cursada según el diseño curricular.

4.2 Planificación del Juego Serio interfacultad

Para planificar la propuesta, se buscó un juego de elaboración por equipos (modalidad grupal). Se definieron las capacidades asociadas a las materias disciplinares seleccionadas, según los alcances del título que establece la Res. 1543 (ME, 2021) y las competencias del diseño curricular (Ord. UTN 1908/22; Res. UNNE 3896/16). Las mismas se describen en la Tabla 1.

Tabla 1: Competencias asociadas según la asignatura

Asignatura	Facultad	Competencias asociadas
Ingeniería en Calidad (5°, anual)	UTN FRSN	-Dirigir, gestionar, optimizar, controlar y mantener las operaciones, procesos e instalaciones requeridas para la producción, distribución y comercialización de productos (bienes y servicios) (CE2.1, Ord 1908/22) -Gestionar y certificar el funcionamiento, condiciones de uso, calidad y mejora continua de las operaciones, procesos e instalaciones requeridas para la producción, distribución y comercialización de productos (bienes y servicios). (CE3.1, Ord 1908/22)
Control de gestión (5°, cuatrimestral)	UTN FRSN	-Dirigir, gestionar, optimizar, controlar y mantener las operaciones, procesos e instalaciones requeridas para la producción, distribución y comercialización de productos (bienes y servicios) (CE2.1 1908/22) -Evaluar, rediseñar y modelar las operaciones e instalaciones de procesos de producción, distribución y comercialización de productos (bienes y servicios). (CE10.1, Ord 1908/22)
Formulación y Evaluación de Proyectos (5°, cuatrimestral)	FCA UNNE	-Identificar, formular y resolver problemas de ingeniería. Utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de la ingeniería. -Gestionar, planificar, ejecutar y controlar proyectos de ingeniería (sistemas, componentes, productos o procesos). (Res. UNNE 3896/16)

También se buscó fomentar el desarrollo de competencias genéricas como el trabajo en equipo, la comunicación efectiva, la ética y responsabilidad.

Se debieron prever los recursos para la realización de la gamificación, así como el espacio físico adecuado, que permitiera distribución de materiales, mobiliarios, como los desplazamientos necesarios. Las actividades se llevaron a cabo en la sede de la Fundación de UTN FRSN.

Además, de manera previa, se realizó un intercambio docente para detectar necesidades, definir los temas, coordinar tiempos de las acciones y la forma de asignarle tratamiento, realizando propuestas conforme al perfil de estudiantes según la materia, pero con un objetivo integrador. De manera planificada se asignaron tiempos y posibles ajustes a tener cuenta para las actividades previstas.

4.3 Clase interfacultad

Se distribuyó el espacio físico en mesas de trabajo con el material correspondiente a cada equipo de trabajo que representaba una empresa con sus roles de gestión y operaciones.

La secuencia didáctica se dividió en 3 momentos principales:

Primer Momento: en esta instancia se brindaron las instrucciones para conocer del proceso y revisar los materiales asignados. Luego, se realizó una explicación de la actividad y se dio paso a la organización del negocio por parte del equipo (grupos con integrantes desconocidos y heterogéneos). Finalmente se habilitó a simular el proceso productivo durante 15 minutos. La dinámica consistió en despachar pedidos en una fábrica de alimentos según una demanda determinada simulada al azar (ruleta virtual). El objetivo fue cumplir el 100% del pedido respetando los puestos de trabajo y sus directrices, completar registros y planillas de resultados, y ceñirse a los tiempos establecidos.

Al finalizar la corrida se realizó un espacio de intercambio entre participantes estudiantes y docentes, con las siguientes preguntas: ¿Cuál fue la experiencia del proceso? ¿Cuáles fueron las dificultades más notorias? ¿Cuáles fueron las principales Oportunidades? Y desde el análisis de la profesión y de las materias involucradas, ¿se llegó a los objetivos? ¿Es posible recopilar datos? ¿Cuáles? ¿Sobre qué aspectos del proceso? ¿Cómo estandarizaron la liberación del producto? ¿Se identificaron No Conformidades del proceso? ¿Existen posibles puntos de control para sumar al proceso? Estas y más preguntas fueron el detonante para el momento siguiente.

Segundo Momento: utilizando el lema, “Medir para gestionar mejor” se propuso a cada equipo que planifique su proceso, revisando la secuencia, roles y funciones para cada actividad, y se pidió que definan dos indicadores según recursos otorgados: una Misión y una Visión particular según el equipo y registros: la Ficha técnica de Indicadores, para que completen la propuesta.

Tercer Momento: Bajo la pregunta ¿se puede mejorar?, se realizó una nueva simulación del proceso de fabricación durante 15 minutos, bajo las mismas condiciones iniciales. Se indicó a los participantes que implementen indicadores planteados y definidos. También que recolecten los datos relevados durante la corrida del proceso. Se aclaró que cada producto se sometería a rigurosos controles de calidad por inspectores calificados al finalizar el tiempo establecido.

El diseño original de la actividad lúdica se realizó siguiendo las etapas de contextualización, metodología y evaluación (Cerrano et al, 2021). Se utilizó como instrumento para planificar dichas etapas, la “Guía para el diseño de un escenario de aprendizaje basado en juegos”, adaptado del handbook_creative (ver Tabla 2), que considera todos los aspectos de diseño y ha sido testeada en la planificación de otras lúdicas de enseñanza de ingeniería industrial (Gallegos et al., 2023; Cinalli et al., 2024)

Tabla 2: Guía de Diseño. Fuente: adaptada de handbook_creative (2017)

Título: Taller interfacultad
¿A quién voy enseñar? Describir público objetivo del juego serio desde las cátedras intervinientes
Dirigido a estudiantes avanzados de Ingeniería Industrial que cursan al momento de la experiencia las materias de Ingeniería en Calidad, Control de Gestión, Formulación y Evaluación de Proyectos
¿Qué quiero enseñar? Describir el Tema y habilidades que se quieren trabajar o promover
Ingeniería en Calidad: Observar y definir metodologías de trabajo (estandarización de tareas), diseñar y utilizar información documentada (procedimientos y registros), identificar Productos No conformes (merma y *scrap*), aplicar metodologías japonesas *Kaizen,* 5S para detectar oportunidades de mejora (y herramientas de calidad) Control de Gestión: Identificar y comprender Indicadores de gestión (KPI´s), analizar resultados de cumplimiento de objetivos y metas (eficacia), y de uso y gestión de recursos (eficiencia). Formulación y Evaluación de Proyectos: establecer las condiciones iniciales y medir el grado de avance de un proyecto. Gestionar variables en contexto de incertidumbre, Analizar riesgos y oportunidades. De manera transversal, trabajar competencias genéricas “trabajo en equipo” y “comunicación efectiva”.
Objetivos: Describir los objetivos de la actividad lúdica
-Crear oportunidades de proyectos interfacultad -Trabajar competencias específicas y genéricas planificadas -Promover el pensamiento crítico desde tres materias del bloque curricular Tecnologías Aplicadas.
¿Cómo quiero enseñar? Definir modalidad y principales características del juego serio
Lúdica presencial planteada en equipos (mix de experiencia grupal y vivencia individual) Estrategia de Enseñanza activa y centrada en el estudiante, con tutoría de becarios y docentes.

Descripción del Juego Desarrollar la dinámica e instrucciones
Actividad en entorno grupal, donde los participantes se dividen en equipos de 5 a 6 personas y asumen diferentes roles relacionados con la preparación de pedidos. Estructura: Corrida 1: -Los grupos reciben instrucciones para preparar un pedido específico, utilizando materiales que representan los ingredientes (Diagrama de flujo del proceso, especificaciones, funciones y roles) -Se evalúa cuántos pedidos pueden completarse en una jornada, analizando la distribución de tareas y tiempos. (preparación de pedidos durante el tiempo definido, gestión de materias primas, equipos, personas) -Los participantes proponen mejoras y establecen indicadores para medir la eficiencia del proceso. Corrida 2: Se realiza una segunda ronda para comparar resultados
¿Cómo lo voy a evaluar? Definir metodología e instrumento/s de evaluación
Encuesta semiestructurada para evaluar resultados. Observación Directa por parte de docentes y tutores. Informe de actividades
¿Cuáles son los requisitos previos de los alumnos? Identificar los aprendizajes previos esperados, materias asociadas, etc.
Haber cursado: -Procesos industriales, -Planificación de la producción, -Estudio del Trabajo Estar cursando: -Ingeniería en Calidad, -Control de Gestión, -Formulación y Evaluación de Proyectos.
¿Qué se necesita para la implementación? Recursos /Entorno
Listado de Materiales y organización previa: -Planificaciones de las materias intervinientes. -Pruebas piloto para realizar los ajustes y adecuaciones necesarias con el equipo de docentes y tutores. -Material didáctico / Técnico (dinámica / instructivos) -Cuestionario para evaluación. -Equipo de docentes, tutores y/o facilitadores de apoyo. -Consenso de lugar de realización, día y horario. Salón apropiado (espacioso, que permitiera organizar mesas y sillas emulando una línea de producción) y sectores de servicios (pañol, almacenes, etc), además de recursos didácticos tradicionales (cañón, pizarra)

4.4 Resultados

4.1 Desarrollo de la experiencia

Se realizaron las 2 corridas y la actividad de planificación programadas en los tiempos previstos completando el 100% de la experiencia interfacultad.
Según el número de participantes, se agruparon en 5 organizaciones conformadas por 4 a 5 empleados cada uno. Cada empresa desarrolló el proceso de fabricación y luego evaluó resultados, compartiendo la experiencia y los indicadores obtenidos en cada corrida en la puesta en común.
Se analizaron aspectos de las materias integradas en la corrida realizada, a modo de ejemplo:
-El control de la gestión: cuatro empresas cumplieron con los objetivos de eficacia y eficiencia fijados, una de ellas no lo hizo. Aquellas que lograron mejores resultados, compartieron sus prácticas asociadas las estrategias utilizadas para alcanzarlo. La que no alcanzó los objetivos, realizó un autodiagnóstico con acciones basadas en la revisión de las actividades.
-La calidad del producto: si bien las empresas trabajaron con la misma metodología, se identificaron mejores prácticas que luego fueron compartidas entre pares. Además, se pudieron reconocer productos no conformes, scrap y oportunidades de mejora tanto en el proceso productivo como en actividades soporte.
-Desde la Formulación y Evaluación de Proyecto, se logró plantear que habitualmente se trabaja en contexto de incertidumbre en el que no se encuentra toda la información disponible, las variables no están fácilmente dispuestas y/o son de rápida obtención, y se pudo vivenciar desde la experiencia. Se pudo comprender que la realidad es que no se tenga toda la información disponible, que se debe avanzar tomando decisiones, y que, además, esa incertidumbre se debe gestionar.
Durante todo el desarrollo de la actividad, se contó con un sólido equipo de becarios tutores, que facultó el acompañamiento entre pares a través de todo el proceso y permitió alcanzar los objetivos previstos para el desarrollo esperado de la dinámica.
Tanto en la planificación como durante la implementación de la actividad lúdica, se enfatiza el conocimiento disciplinar, tácito y *expertise* docente para la articulación y debate al momento de analizar y compartir resultados.



Figura 1: Fotografías tomadas durante la experiencia. Fuente: elaboración propia

4.2 Puesta en común y cierre

Una vez realizado el juego serio, se abrió el espacio para las conclusiones. Cada equipo compartió su experiencia y los docentes realizaron el cierre para compartir resultados y aprendizajes integrando experiencia y saberes intercátedras Control de Gestión - Ingeniería en Calidad – Formulación y Evaluación de Proyectos. Los temas más destacados se sintetizan a continuación:

- Se analizaron indicadores de gestión, eficacia y eficiencia, objetivos y cumplimiento, clasificación de los indicadores referidos al micro y macro-contexto, forma de cálculo e implementación.
- Se analizó el proceso de producción, si hubo y cuáles fueron los cuellos de botella, recursos involucrados y necesarios en el mismo, puestos ociosos y oportunidades para reducirlos.
- Se obtuvieron conclusiones en conjunto arribando la necesidad de estandarización del proceso, la identificación y secuencia de actividades que lo conforman, así como los roles y funciones y sus competencias.
- Se identificaron oportunidades de mejora del proceso, listando las más evidentes y justificando las elecciones.
- Afloraron temas como la comunicación entre integrantes del equipo, clima laboral, y en cuanto afectan estas cuestiones al contexto de la organización y al desarrollo normal de las operaciones.

- Cada grupo (empresa) realizó un balance, que compartió al auditorio, en un caso manifestaron ir por debajo de las expectativas y finalizar la lúdica liderando el mercado. En otro caso, indicaron haber aprendido del equipo.

- Se pidió a cada organización (grupo), que dedujeran palabras clave, que pusieran de relieve y los identificara según la metodología de trabajo empleada en la empresa que crearon. Luego, las cinco palabras clave que dedujeron cada equipo fueron: método, contexto, comunicación, optimización (recursos), estandarización; dando éstas lugar al cierre y conclusiones por parte de los docentes desde las 3 cátedras vinculadas.

Hubo acuerdo general, y se ratifica con los resultados de la encuesta, en que durante toda la actividad, estudiantes, tutores y docentes generaron un clima de trabajo y de simulación de empresas desafiante y de valor para cada uno de los participantes. Esto significa que el aprendizaje, compartido y colaborativo, fue tanto para los estudiantes como para los becarios y los docentes que guiaron el proceso.

Desde la docencia, se enfatizó que, en los negocios, siendo emprendedor, o trabajando en la industria, no conocemos todas las variables por anticipado, tampoco existe la receta premeditada, sino que, en el momento de aplicar la ingeniería, la formación confluye para poder resolver los problemas, hincapié en el esfuerzo como aliado para sortear los desafíos.

5.3.1 Resultados del procesamiento de encuestas

Para terminar, se distribuyó una encuesta entre los estudiantes participantes para relevar y medir la experiencia. El total de participantes en la actividad sumando ambas facultades fue de 27 estudiantes. El nivel de respuesta obtenido fue del 70%. A continuación, se describen los resultados más significativos.

En primer lugar, se consultó acerca del conocimiento previo de los temas tratados. Los resultados fueron dispares, en un nivel de 1 (conocimiento nulo o bajo) a 5 (alto o mayor conocimiento), el 26% de los encuestados respondieron 1 y 4. Asimismo, 4 y 5 reúnen el 42% de las votaciones según se muestra en el gráfico de la figura 2.

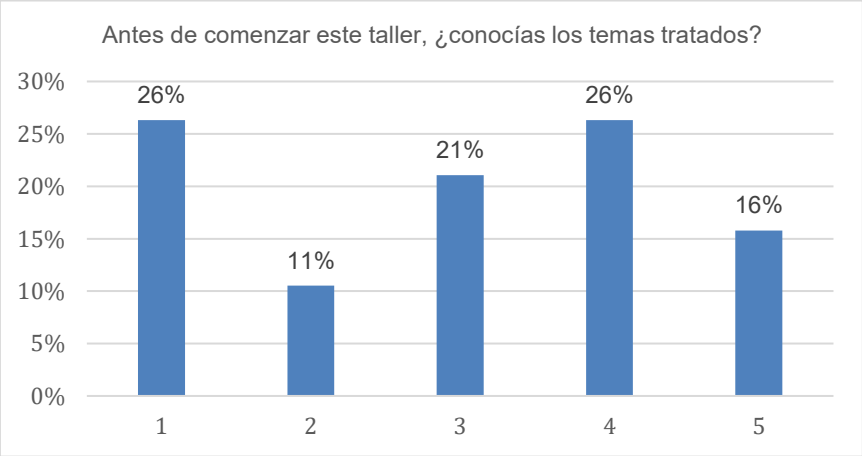


Figura 2: conocimiento previo de los temas tratados. Fuente: elaboración propia.

Luego, el 93% de los estudiantes indicó que el juego serio lo ayudó a conocer/recordar los temas ya vistos durante el cursado, asignando una calificación de 4 (39%) y 5 (54%), este último corresponde al nivel máximo en la escala de 1 (Muy poco) a 5 (en gran medida). (Figura 3)

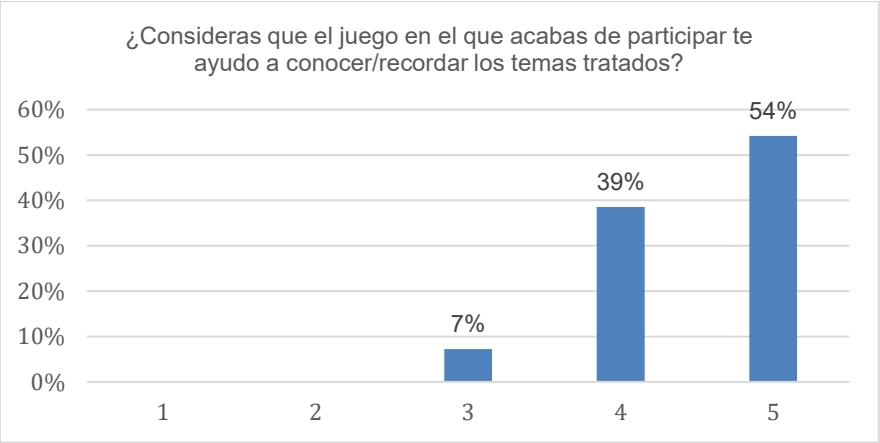


Figura 3: conocimiento de los temas tratados. Fuente: elaboración propia.

La interacción entre los participantes fue uno de los puntos destacados. El 90% indicó que fue muy buena (39% con calificación 4) o excelente (54% con calificación 5), según se presenta en el gráfico de la Figura 4.

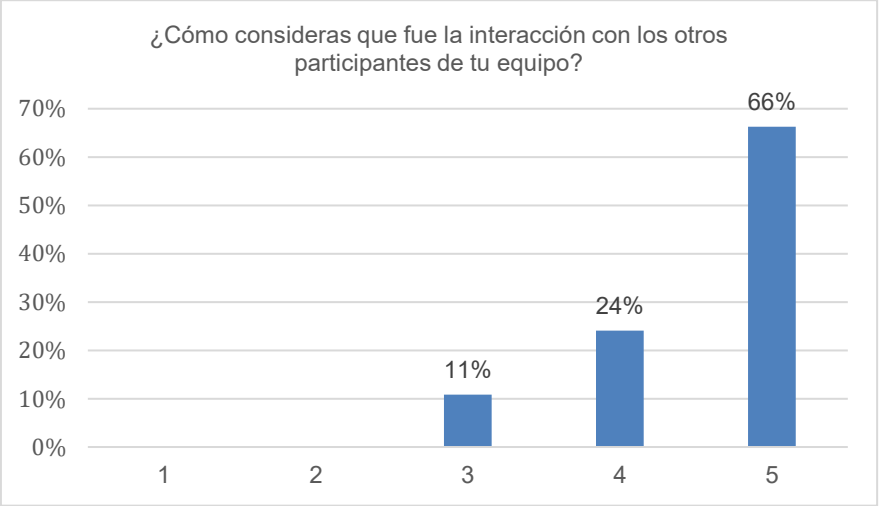


Figura 4: conocimiento de los temas tratados. Fuente: elaboración propia.

También se consultó a los estudiantes, respecto a las habilidades que consideran que han desarrollado mediante el juego serio, a lo que respondieron fundamentalmente y en orden de peso, el trabajo en equipo (78,95%), la comunicación fluida con sus pares (68,42%), la resolución de problemas (57,89%) y la toma de decisiones (52,63%). (Figura 5)



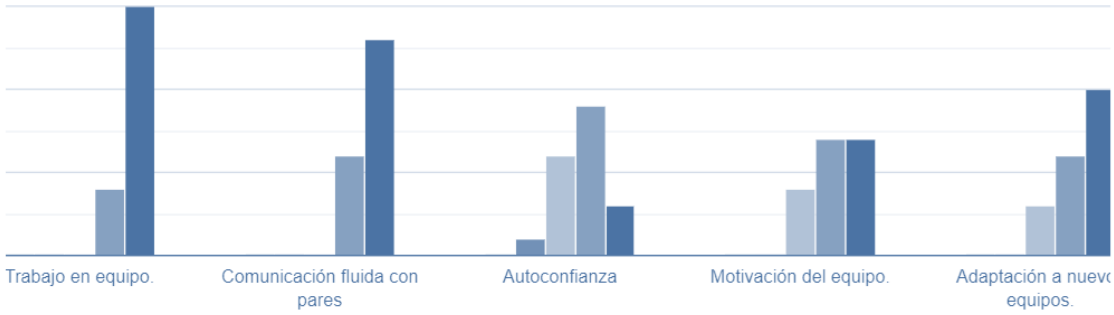


Figura 5: Habilidades y competencias. Fuente: elaboración propia.

Para conocer la valoración que los estudiantes realizan de las actividades lúdicas aplicadas a la enseñanza, se pidió a los estudiantes que valoricen el juego serio. El 100% lo valorizó con calificaciones de 4 (42%) al 5 (58%). siendo 5 la calificación más alta, según se muestra en la Figura 6.

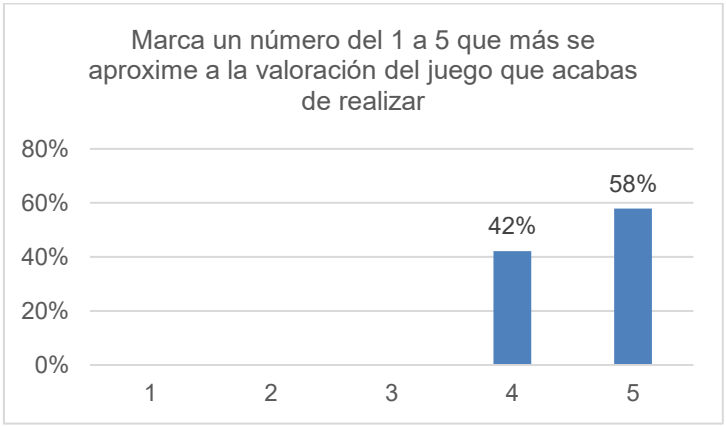


Figura 6: Habilidades y competencias. Fuente: elaboración propia.

Finalmente, se consultó a los estudiantes sobre si participarían o recomiendan juegos serios con fines de enseñanza, ante lo cual, el 84% los valorizó con puntajes entre 9 y 10, alcanzando esta última puntuación un porcentaje del 68%. (Figura 7)

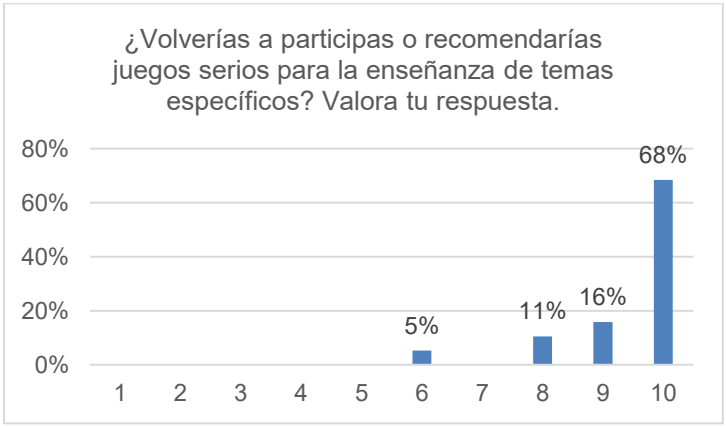


Figura 7: conocimiento de los temas tratados. Fuente: elaboración propia.

5. CONCLUSIONES

La actividad interfacultad permitió compartir experiencias y puesta en común sobre distintos temas que se cursan en la carrera, y trabajar en la formación por competencias y capacidades profesionales para futuros profesionales de la Ingeniería Industrial. Se llevó a cabo según los objetivos previstos, con la correspondiente relevancia institucional y académica desde el marco de cada cátedra. Fundamentalmente desde el sentido de aplicación de competencias según los alcances del título de manera integrada. Si bien se trabajaron competencias específicas a lo largo de la experiencia, también se aplicaron competencias genéricas, como el trabajo en equipo, comunicación efectiva y toma de decisiones.

Como resultado, se puso en valor a las actividades interfacultades planificadas con fines de enseñanza, desde un enfoque práctico, donde el conocimiento no emerge de una sola disciplina, sino que toma de cada campo del saber, lo que necesita para lograr el objetivo. Para este caso, la Ingeniería en Calidad, la Formulación y Evaluación de Proyectos y el Control de Gestión, confluyeron en resolver problemas de ingeniería aplicado en un juego serio que simuló un proceso industrial, con estudiantes de ingeniería industrial próximos a terminar la carrera y que puede replicarse en otras cátedras, como en otras unidades académicas.

6. REFERENCIAS

Cerrano M. Liliana, Gallegos María Laura, Gómez Daniela N. (2018). “Aprendizaje activo con gamificación” 4to. Congreso Argentino de Ingeniería (CADI) y del 10mo. Congreso Argentino de Enseñanza de la Ingeniería (CAEDI). Holiday Inn. Córdoba. Argentina. ISBN: 978-950-33-1453-1.

Cerrano, M; Feraboli,L; Gallegos M. (2017) Diseño y desarrollo de un dispositivo lúdico de aprendizaje Publicado en los Anales del X Congreso de Ingeniería Industrial (X COINI).

Cerrano Marta Liliana, G. M. (2021). Actividades lúdicas para la formación de Ingenieros en un proyecto Inter Facultad. XIV Congreso Internacional de Ingeniería Industrial 2021. Buenos Aires.

Cinalli, Marcelo, Gallegos, M. Laura; Hetze, Vanesa, Salguero, M. Guadalupe. “Congreso de Innovación y Creatividad en la Enseñanza tecnológica (CICE) 2024. UTN Facultad Regional Chubut. Chubut, Buenos Aires, Argentina.

CONFEDI (2018). Propuesta de estándares de segunda generación para la acreditación de carreras de ingeniería en la República Argentina, “LIBRO ROJO DE CONFEDI”.

Fomentando la Creatividad: Creación de Escenarios de Aprendizaje Basados en Juegos, pág. 25 - www.ub.edu/euelearning/proactive/documents/handbook_creative_gbl_es.pdf consultado 23-08-2024.

MINISTERIO DE EDUCACIÓN (2021). Resolución 1543. “Estándares para la Acreditación - Ingeniero Industrial Anexo IV”. Buenos Aires, Argentina.

Paravie, D. I., Sandoval, L., Chiodi, F. J., & Urrutia, S. B. (2023). DISEÑO DE UN TABLERO DE CONTROL EN UNA PYME INDUSTRIAL APLICANDO LA METODOLOGIA DE INVESTIGACION-ACCION. i*beroamerican journal of industrial engineering*, *12*(23), 45–59. recuperado de https://incubadora.periodicos.ufsc.br/index.php/IJIE/article/view/v12n2206 (Original work published 12º de agosto de 2020)

PROYECTO IING522 “Diseño y desarrollo de estrategias didácticas utilizando juegos serios en ingeniería industrial- parte I”. FCEIA-UNR. Directora: Marta Cerrano, desde 1/1/2016 al 31/12/2017.

PROYECTO IING628 “Diseño y desarrollo de estrategias didácticas utilizando juegos serios en ingeniería industria- parte II FCEIA-UNR, Directora: Marta Cerrano, desde 1/1/2018 al 31/12/2021.

UTN CS (2023). Res. 1908. “Diseño Curricular de Ingeniería Industrial”. Buenos Aires.

UTN-FRSN, D. I. (12 de octubre de 2021). Acta fundacional Grupo de Investigación Gestión, Innovación y Mejora Continua (GIMCo). San Nicolás, Buenos Aires, Argentina.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo desean agradecer a la Fundación de UTN FRSN que prestó su cede para realizar la experiencia, y a las autoridades de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNNE por facilitar la realización del viaje de los estudiantes a la localidad de San Nicolás de los Arroyos.

"COMPETENCIAS Y CARACTERIZACIÓN DOCENTE: GESTIÓN DOCENTE PARA LA FORMACIÓN DE INGENIEROS"

Gallegos, M. Laura[(1)]; Cerrano, M. Liliana[(2)]; Cinalli, Marcelo[(1)]; Gómez, Daniela[(2)]

(1) *Facultad Regional San Nicolás, Universidad Tecnológica Nacional*
(2) *Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario*
mgallegos@frsn.utn.edu.ar; mcerrano@fceia.unr.edu.ar; mcinalli@frsn.utn.edu.ar; danielag@fceia.unr.edu.ar

RESUMEN

Las necesidades a nivel global y regional en la educación superior y en particular en la Ingeniería Industrial, interpelan la búsqueda de estrategias innovadoras para mejorar la calidad educativa y hacer frente a los cambios cada vez más sustanciales y transitorios de la industria y de la sociedad. En un estudio previo realizado en el marco del proyecto de investigación interfacultad integrado por FCEIA de UNR y UTN FRSN, se relevaron las competencias y las habilidades que permiten caracterizar al docente de Ingeniería Industrial y que contribuyen a la formación de profesionales con el enfoque por competencias. El presente trabajo complementa dicho estudio, describiendo el análisis de resultados y conclusiones integradas en cuanto aspectos de gestión del diseño, planificaciones y de la enseñanza para formación de ingenieros. La metodología utilizada fue empírica y exploratoria, se diseñó un cuestionario semi-estructurado para la recolección de datos primarios. La investigación revela oportunidades, buenas prácticas y habilidades profesionales docentes para la educación innovadora de la ingeniería industrial.

Palabras Claves: Ingeniería Industrial, diseño curricular, planificaciones, gestión docente

ABSTRACT

The needs at a global and regional level in higher education and particularly in Industrial Engineering, call for the search for innovative strategies to improve educational quality and face the increasingly substantial and transitory changes in the industry and society. In a previous study carried out within the framework of the interfaculty research project integrated by FCEIA of UNR and UTN FRSN, the competencies and skills that characterize the Industrial Engineering teacher and that contribute to the training of professionals with the competency-based approach were identified. . . The present work complements this study, describing the analysis of results and integrated conclusions regarding aspects of design management, planning and teaching for engineering training. The methodology used was empirical and exploratory, a semi-structured questionnaire was designed for the collection of primary data. The research reveals opportunities, good practices and professional teaching skills for innovative industrial engineering education.

Keywords: Industrial Engineering, curricular design, planning, teaching management

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción y Objetivos

Desde el año 2021, luego de un proceso de análisis del perfil de egreso de las ingenierías, se publicaron nuevos estándares del ingeniero industrial, impulsando así la necesidad de revisar institucionalmente los planes de estudio con enfoques curriculares que acentúan el aprendizaje centrado en el estudiante y en las competencias. Desde el año 2022 dentro del marco del proyecto de investigación "En la Búsqueda de Estrategias para la Transformación de la Educación Superior en Ingeniería Industrial" con sede en FCEIA de UNR y con la participación de investigadores de UTN – FRSN se inició la tarea de avanzar en esta línea.

El presente trabajo complementa dicho estudio, siendo el objetivo del mismo profundizar sobre el análisis de resultados y conclusiones integradas en cuanto aspectos de gestión del diseño, planificaciones y de la enseñanza para formación de ingenieros que pueda hacer frente a las transformaciones actuales en Educación Superior, y en particular en Ingeniería Industrial.

1.2. Marco teórico

La educación en Ingeniería ha vivido en tiempos recientes cambios significativos, varios de ellos surgidos de la crisis global como regional, lo que ha motivado nuevas formas para hacer las cosas y enfrentar los retos de un mundo cada vez más complejo. La Declaración de Valparaíso (ASIBEI, 2013), manifestaba la necesidad de que los futuros ingenieros puedan resolver problemas cada vez más complejos, contribuyendo a la generación de desarrollos tecnológicos y/o innovaciones de esta índole, trabajando en equipo en un contexto de continuos cambios y adaptaciones. Asimismo, forjar en el seno de la ingeniería profesionales que actúen con ética, responsabilidad profesional y compromiso social considerando el impacto económico, social y ambiental de su actividad, tanto en el contexto local como en el global.

Dado que los problemas actuales son cada vez más complejos, se requiere una visión holística integral e interdisciplinaria, que es alcanzable con trabajo en equipo y colaborativo. Estos problemas requieren profesionales que puedan enfrentar, gestionar, diseñar soluciones y anticiparse en un contexto de incertidumbre.

La investigación de Delors, J. et al., como se citó en Cerrano et al., 2023 señaló que la educación a lo largo de la vida se basa en cuatro pilares: aprender a conocer, aprender a hacer, aprender a vivir juntos y aprender a ser (Cerrano et al., 2023; Delors, 1996). Concretamente, un graduado de ingeniería deberá poseer un balance equilibrado de conocimientos académicos, científicos, tecnológicos y de gestión, con formación humanística, en la cual considere aspectos políticos, económicos, sociales, ambientales y culturales con una perspectiva global, desde las necesidades y el aporte de la profesión a la sociedad.

UNESCO ha publicado dos informes de referencia sobre la ingeniería, con una década de diferencia entre uno y otro. En 2021, publicó el segundo informe titulado “Ingeniería para el desarrollo sostenible: Cumpliendo los objetivos de desarrollo sostenible” (UNESCO,2021), que establece diecisiete objetivos de desarrollo sostenible (ODS) destacando el papel crucial de la ingeniería en abordar la problemática de la pobreza, la satisfacción de las necesidades básicas, la promoción del desarrollo sostenible, la solución de situaciones de emergencia, trabajando en forma colaborativa. Así, la ingeniería juega un papel fundamental para el desarrollo socioeconómico mundial, con la responsabilidad de cumplir y hacer cumplir los ODS. Para la transformación del proceso educativo, algunas propuestas se fundamentan en comprender y considerar las características propias de los estudiantes, definir y propiciar una profesionalidad docente comprometida con el encargo social, repensar y reconstruir los diversos elementos del currículo, orientándose efectivamente hacia nuevos fines educativos, así como considerar y manejar adecuadamente las características del contexto organizativo, cultural y social en el que desarrollan su actividad las instituciones educativas. Sánchez y otros mencionan que el término competencia se refiere a la capacidad comprobada de usar el conocimiento y las habilidades personales, sociales y metodológicas en el desarrollo profesional y personal. Por lo tanto, la competencia puede entenderse como la combinación de conocimiento y experiencia (Sanchez et al,2018).

En este contexto, en el cual se han definido las competencias genéricas y específicas de egreso como así también los estándares y nuevas actividades reservadas para el título de futuros ingenieros (M.E. Resolución 1543/2021), desde el equipo de investigadores surgieron diversos interrogantes sobre: ¿Cuáles son los nuevos perfiles docentes en relación a los entornos interaccionales de aprendizaje?

¿Qué nuevas habilidades y competencias docentes son necesarias para favorecer una enseñanza que pueda hacer frente a las transformaciones presentadas? Para responder a estos interrogantes se avanzó indagando sobre las cualidades de un docente de excelencia, tomando como guía los conceptos vertidos por Gairín (2011), quien aseguró que, para que proceso de enseñanza se lleve a cabo de manera eficaz se requiere, el desarrollo de cuatro competencias: técnicas, metodológicas, sociales y personales.

Las Competencias Técnicas se asocian al conocimiento de la disciplina y el trabajo pedagógico del docente dentro de la currícula. Las Competencias Metodológicas vinculan el conocimiento con la realidad de los alumnos, incorporando las experiencias de los mismos y la interacción con el docente durante el proceso de enseñanza aprendizaje. Las Competencias Sociales se asocian a la habilidad para el trabajo con el otro, en forma colaborativa, bajo criterios acordados colectivamente en función del proyecto educativo de la institución. Finalmente, las Competencias Personales, corresponden a la ética profesional y la responsabilidad en el ejercicio de la profesión.

Según Zabalza M.A., como se citó en Cerrano et al., 2023, la docencia como cualquier otra profesión, constituye un espacio propio y distinto de competencias profesionales (Cerrano et al., 2023; Zabalza, 2003). Esas competencias docentes, también en la enseñanza universitaria, están constituidas por conocimientos (sobre los contenidos disciplinares a enseñar, sobre los propios procesos de enseñanza-aprendizaje), por habilidades específicas (de comunicación, del manejo de recursos didácticos, de gestión de métodos, de evaluación, etc.) y por un conjunto de actitudes propias de los formadores (disponibilidad, empatía, rigor intelectual, ética profesional, etcétera).

La nueva docencia universitaria tiene que estar centrada en el aprendizaje y en el trabajo del estudiante, que debe buscar modalidades de trabajo autónomo, que debe organizarse en torno a competencias. La cuestión está en buscar diversos caminos que lleven a estos propósitos. Y ahí es donde la didáctica universitaria desarrolla un papel imprescindible. La didáctica actual según Zabalza M. es el campo de conocimientos, de investigaciones, de propuestas teóricas y prácticas que se centran en los procesos de enseñanza y aprendizaje: cómo estudiarlos, cómo llevarlos a la práctica en buenas condiciones, cómo mejorar todo el proceso. Por lo tanto, será la disciplina que nos ayude a conocer mejor lo que sucede en los procesos de enseñanza y aprendizaje que se producen en la Educación Superior. (Zabalza, 2007)

Partiendo de ese principio, muchas de las miradas y de las prácticas educativas han ido cambiando el foco, trasladando el protagonismo de lo que el docente decía o hacía a lo que los estudiantes hacen en ambientes de aprendizaje especialmente preparados para enriquecer su experiencia y orientar su aprendizaje. Las coreografías, metáfora tomada del mundo de la danza (Oser y Baeriswyl, 2001, como se citó en Cerrano et al., 2023, forman parte de esas nuevas miradas sobre la enseñanza. Con una arquitectura simple, las coreografías contienen cuatro componentes básicos: anticipación, coreografía externa, coreografía interna y producto. Zabalza M. retoma la metáfora de coreografías y pone en primer plano el necesario equilibrio entre coreografía y artista (Zabalza, 2022).

En el marco de la investigación del proyecto “Competencias de Egreso en Ingeniería Industrial: desafíos de acercar el futuro profesional al contexto actual y a las necesidades de la sociedad de modo flexible ante los cambios” se realizó un estudio previo en 2022 (Cerrano et al, 2022) que dio lugar a un análisis de entrevistas realizadas a docentes, que se profundizó en (Cerrano et al, 2023) sobre las oportunidades, buenas prácticas y habilidades docentes. El presente trabajo complementa lo analizado oportunamente en 2023.

2. METODOLOGÍA

2.1 Enfoque y diseño

El enfoque metodológico empleado para realizar el desafío propuesto fue empírico y exploratorio. Para ello se utilizaron técnicas de recolección de datos primarios, mediante una encuesta. Se diseñó como instrumento para la recolección de esta información un cuestionario semi-estructurado en formato electrónico. El mismo fue enviado a los docentes de Ingeniería Industrial de UTN FRSN y de FCEIA de UNR a través del envío del enlace por correo electrónico. El cuestionario originalmente propuesto fue presentado para su valoración a un grupo de expertos que revisaron el conjunto de preguntas, atendiendo a su selección, redacción, y claridad. Sus aportes, permitieron incorporar sugerencias dando lugar al instrumento finalmente utilizado.

Se ha trabajado utilizando investigación-acción, la cual se desarrolla siguiendo un proceso en espiral que incluye cuatro fases: Planificación, Acción, Observación y Reflexión.

3. DESARROLLO

3.1 Antecedentes

En estudios anteriores, se analizaron los factores que componen la educación y la enseñanza en la Educación Superior, como proceso complejo en donde interactúan estudiantes, docentes, contexto familiar, social, currículo, condiciones de las instituciones, entre otros. El enfoque se situó en analizar el factor docente, sustentado en indagaciones acerca de: ¿Cuáles son las habilidades y competencias docentes necesarias para favorecer una enseñanza que pueda hacer frente a las transformaciones mencionadas en la Ingeniería Industrial? (Cerrano et al., 2022). Con ese objetivo, se realizaron entrevistas a docentes de Ingeniería Industrial de las dos universidades para dar respuestas a los interrogantes sobre las habilidades que hagan frente a los cambios permanentes ya mencionados oportunamente. Para ello, se recurrió a un proceso de reducción de los datos recabados en las entrevistas con la codificación, identificación de palabras claves y segmentos, identificación de patrones recurrentes, y categorización. Se infirieron cuatro unidades de análisis:

- Habilidades técnicas y didácticas
- Habilidades personales y del ejercicio profesional
- Habilidades metodológicas
- Habilidades de extensión social.

Los resultados del procesamiento permitieron construir un mapa conceptual que sintetiza las transformaciones habilidades y competencias docentes (Cerrano et al., 2022), concluyendo que las habilidades mencionadas no son excluyentes entre sí, sino complementarias y cada docente presenta estas capacidades en distinto grado y caracterización. Las mismas están en consonancia con los cuatro tipos de competencias docentes (técnicas, metodológicas, sociales y personales). Asimismo, de lo relevado en las entrevistas y lo plasmado en el mapa conceptual, se observó que las transformaciones favorecen la formación de un profesional docente contemporáneo haciendo foco en la gestión de las personas, del contexto y los medios.

3.2 Diagnóstico

Para profundizar el estudio, se buscó relevar y detectar las fortalezas, necesidades e inquietudes docentes para favorecer una enseñanza que pueda hacer frente a las transformaciones actuales de la educación superior. Con este objetivo, se realizaron encuestas obteniendo un total de 44 respuestas sobre un total de 155 docentes de Ingeniería Industrial de ambas universidades.

La encuesta se dividió en 5 secciones para facilitar su procesamiento:

1. Trayectoria académica y perfil profesional
2. Diseño curricular y planificaciones
3. Habilidades docentes para la formación de futuros ingenieros
4. Metodología y planificación para la formación de ingenieros
5. Proyecciones

Dada la extensión de las respuestas obtenidas se proyectó su análisis en dos etapas:

En la primera etapa se analizó las secciones 1,3 y 5, que refieren a habilidades, innovación y gestión del cambio en la educación superior (Cerrano et al., 2023), y se sintetizan a continuación:

- Se destaca que presentan formaciones de posgrado múltiples, con un abanico importante de terminalidades actuales y de destacada aplicación en la actualidad para ser transmitidos. La relación entre la enseñanza de teoría y práctica de los encuestados está en una relación de 54/46 presentándose un balance equilibrado de opiniones de teoría y práctica.
- Entre las principales habilidades docentes citadas por los encuestados, se encuentran la responsabilidad, el trabajo en equipo, la comunicación, experiencia en la materia y una propensión para gestionar cambios tecnológicos.
- Con relación a los desafíos señalados, se destacan la búsqueda de generar interés genuino por el aprendizaje, motivar y despertar la pasión por la ingeniería. Reconociendo que, existen

brechas tecnológicas y generacionales, diversidad de conocimientos y herramientas disponibles y así como transmitir contenidos de manera relevante para el futuro laboral de los estudiantes. Se destaca la necesidad de desarrollar competencias sociales con el fin de encuadrarlas dentro de los ODS, y actitudinales, así como actualización continua. Abordar los desafíos relacionados con la transformación tecnológica y la industria 4.0. También se menciona la complejidad y el desafío de trabajar con un número elevado de alumnos por comisiones.

La segunda etapa analiza las secciones 2 y 4, las cuales se desarrollan en el apartado siguiente.

3.3 Análisis de Resultados de Encuestas a Docentes de secciones 2 y 4

Para el procesamiento de los datos relevados en ambas secciones se realizó un estudio descriptivo.

Seccion 2: Diseño curricular y planificaciones

En primera instancia, se consultó a los docentes si se tuvieron que realizar adecuaciones y modificaciones en las planificaciones de sus materias a partir de la definición de nuevos estándares. Algunos criterios a tener en cuenta para las decisiones han sido la nueva resolución vinculada al diseño curricular de la carrera, modelos particulares (como en el caso de UTN, el denominado modelo Syllabus utilizado para las planificaciones docentes), la formación por competencias, y la enseñanza centrada en el estudiante, entre otros. El 87,1% reúne las respuestas de los docentes encuestados en el rango de valorización de 3 a 5, siendo el rango total de valorización entre 1 (valor más bajo) a 5 (valor más alto), indicando esto que han realizado modificaciones y/o adecuaciones en sus planificaciones. La puntuación 3 corresponde a la de mayor porcentaje (42,9%), según se aprecia en el gráfico de la Figura 1.

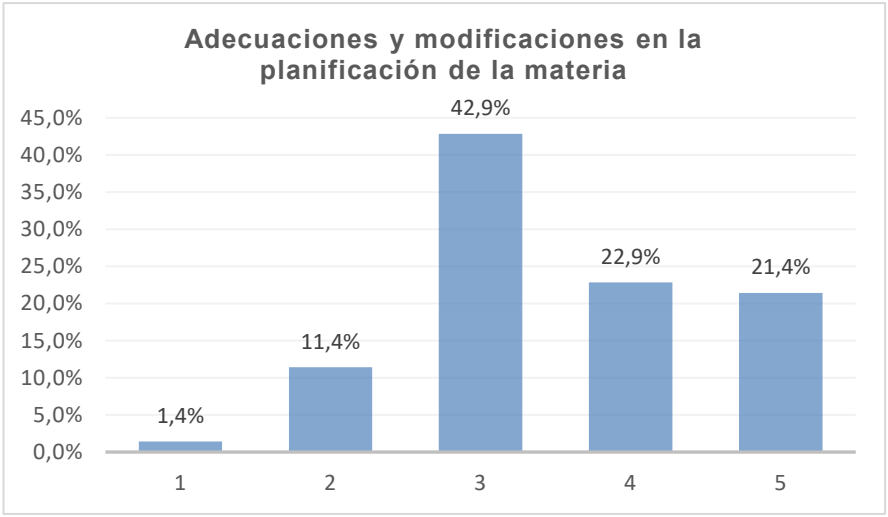


Figura 1: Adecuaciones y/modificaciones en las planificaciones a partir de los nuevos estándares. Fuente: Elaboración propia.

Luego se consultó acerca del nivel de conocimiento que los docentes poseen en cuanto a determinadas curriculares de la Carrera, específicamente: perfil de egreso, competencias de egreso, estructura curricular, y actividades reservadas del título. Los docentes encuestados calificaron en un rango de 1 (valor más bajo) a 5 (valor más alto). Los resultados se presentan en la Figura 2.

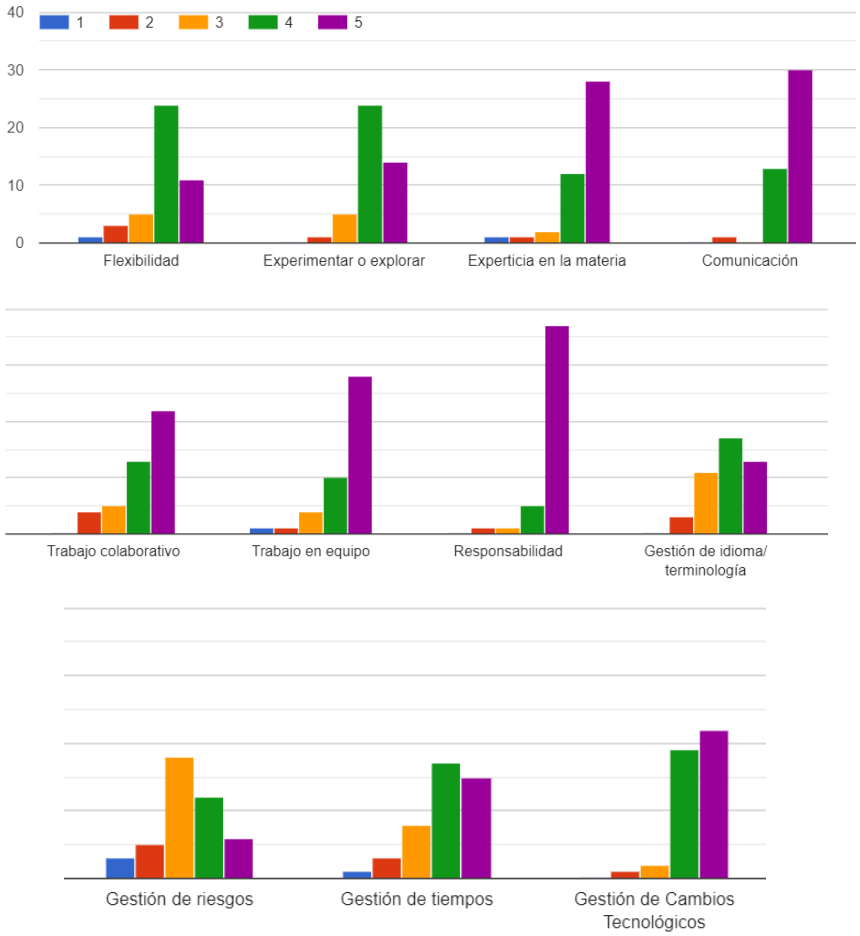


Figura 2: Adecuaciones y/modificaciones en las planificaciones a partir de los nuevos estándares. Fuente: Elaboración propia.

También se consultó acerca de las capacitaciones realizadas durante estas instancias de cambio de estándares y puntualmente sobre la participación de los docentes en las mismas, siendo solo el 43% de los docentes, quienes han participado de estas actividades, según se muestra en el gráfico de torta de la Figura 3.

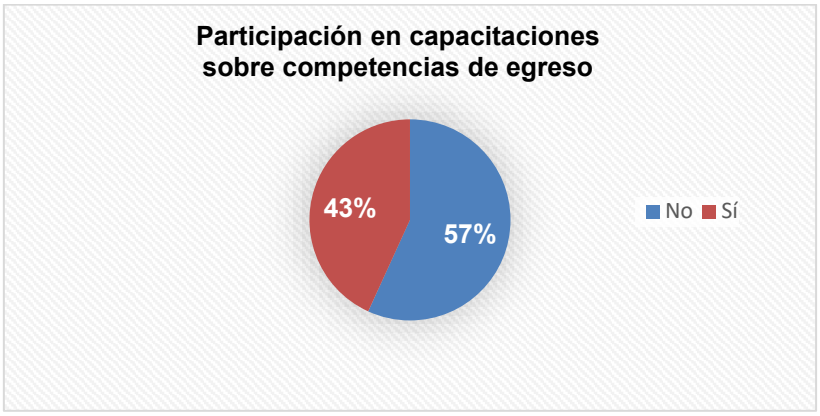


Figura 3: Participación docente en las capacitaciones realizadas. Fuente: Elaboración propia.

Luego, se consultó acerca de las alternativas más prácticas y potenciales para poder acceder a capacitaciones y profundizar estos temas. El formato preferido seleccionado fue la modalidad de curso auto gestionado mediante plataforma, con un 42% de respuestas, seguido de talleres grupales con un total de 25% de respuestas. En menor valor porcentual, se consideraron las clases magistrales de expertos (20%) y por último los tutoriales (13%), tal como se presenta en la figura 4.

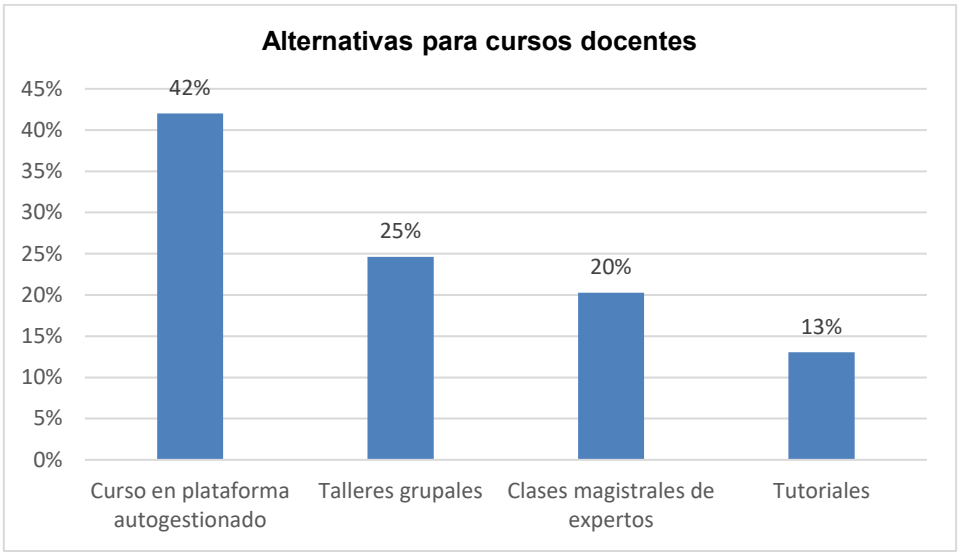


Figura 4: Alternativas más prácticas y potenciales para el dictado de capacitaciones. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la modalidad que consideran más práctica para las capacitaciones, entre las opciones presencial, virtual y e-blended, señalaron como la preferida la modalidad virtual (57%), seguida por e-blended (29%), tal como se presenta en figura 5.

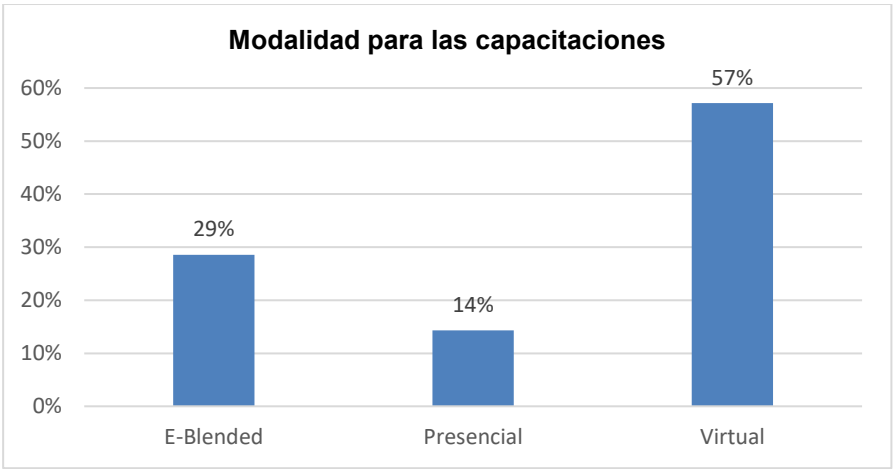


Figura 5: Modalidad que considera más práctica para el dictado de capacitaciones. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se consultó a los docentes acerca de los principales temas que motivan su interés para las capacitaciones o cursos que podrían ser útiles para la formación continua, a lo que respondieron en su mayoría, cursos referidos a procesos de formación (29%) y diseño o manejo de aulas virtuales (26%). También indicaron competencias (21%) y en menor medida Gestión de equipos (15%). Con menor votación, resultaron cuestión de género (4%) y temas referidos a estrategias de enseñanza y/o motivación del estudiante, que se fueron agrupados en otros (4%), presentado en la figura 6.

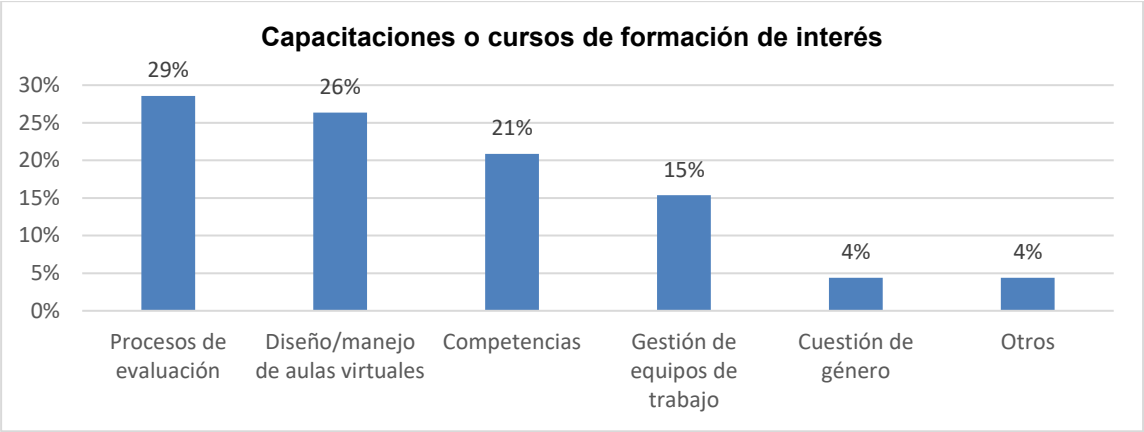


Figura 6: Capacitaciones de formación docente de interés. Fuente: Elaboración propia.

Sección 4: Metodología y planificación para la formación de ingenieros

En el primer ítem se preguntaba en modo abierto ¿Qué metodología y/o actividades de enseñanza utiliza para la planificación de sus clases?

En la tabla siguiente se resumen las respuestas recibidas.

Tabla 1: Metodología y actividades de enseñanza utilizadas en la planificación de clases.

ACTIVIDADES	MATERIALES	METODOLOGIAS UTILIZADAS
Reuniones con los docentes	Videos	Clases presenciales y virtuales
Actualización de contenidos permanente	Presentaciones	Exposiciones dialogadas
Elaboración de cronogramas para gestión adecuada del tiempo	Ejemplos actualizados	Resolución de problemas abiertos
Elaboración de materiales (teóricos y prácticos)	Gráficos	Resolución de casos
Elaboración de evaluaciones	Casos de estudio	Laboratorios
Búsqueda de casos y ejemplos actuales	Juegos grupales	Aula invertida
Búsqueda de actividades lúdicas	Bibliografías digitales	Trabajos Prácticos
	Libros/materiales de cátedra	Trabajo en equipo
		Interacción entre clases teóricas y prácticas

A modo de síntesis, en la Figura 7 se muestran las estrategias más utilizadas por los docentes consultados son: Aprendizaje basado en Problemas (30%), seguido por Trabajos de Campo (17%) y Tutorías (17%). Estas dos últimas actividades se comportan como complementarias, la hora de planificar la actividad.

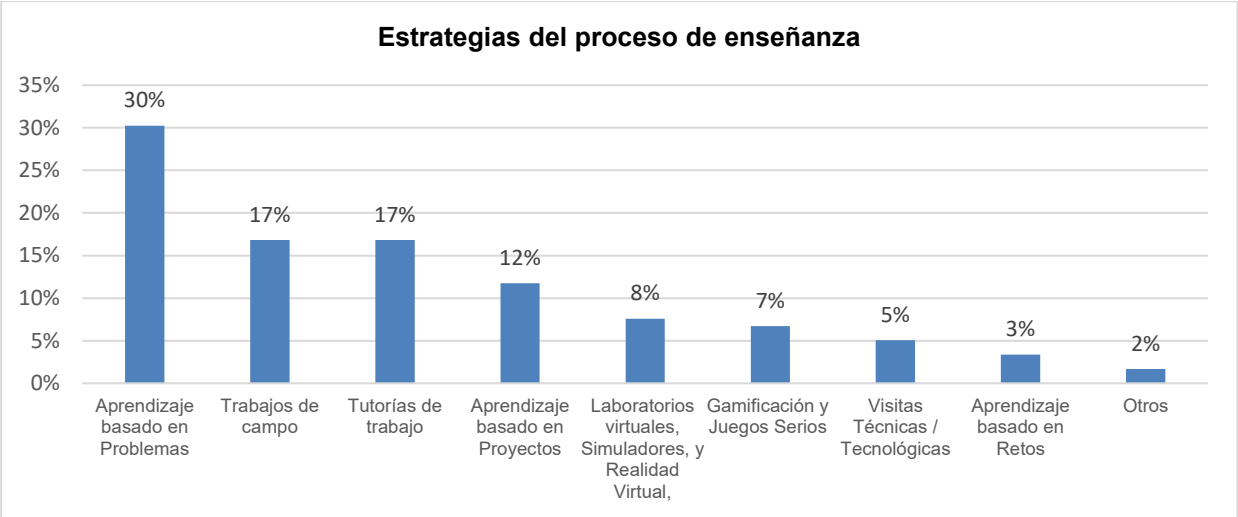


Figura 7: Estrategias que utiliza el docente para el proceso de enseñanza. Fuente: Elaboración propia.

También se consultó acerca del tipo de material didáctico que utiliza habitualmente para soporte de las clases y que le resulta más adecuado, su resultado se presenta en la figura 8. El 36% aseguró utilizar material digital subido a la plataforma, el 31% en formato video, y el 19% como libros electrónicos. Sólo el 1% refirió textos impresos. Además, el 11% señala incorporar complementos virtuales. En otros (3%), se incluyen materiales impresos, instructivos para lúdicas/juegos serios, software del paquete office y/o especiales.

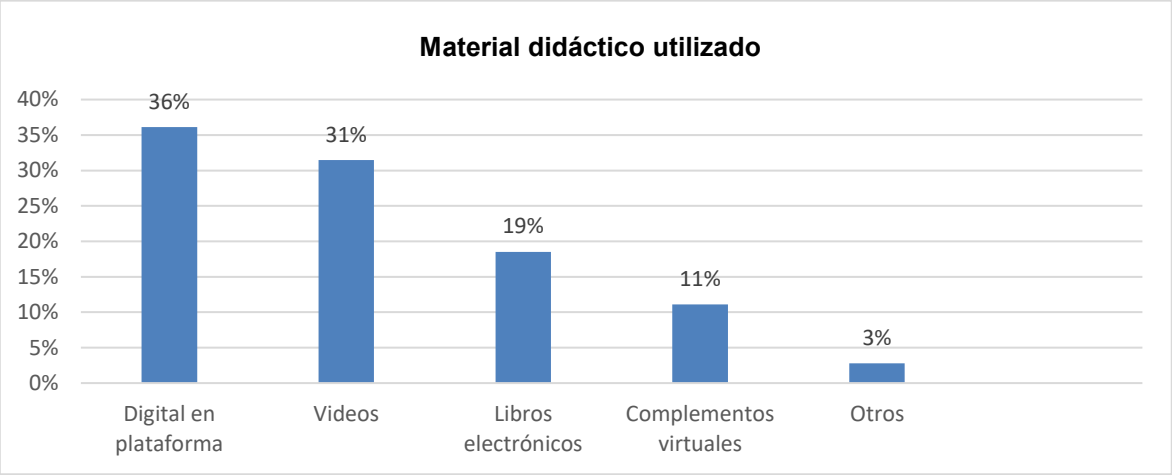


Figura 8: Material didáctico que se utiliza para el soporte de las clases. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, en una pregunta abierta, los docentes compartieron actividades que les dieron resultados positivos en el desarrollo de clases. A continuación, se resume lo más destacado que han mencionado:

- **Conversatorios/Charlas:** Invitar a profesionales de la industria, como Ingenieros Industriales, para que compartan sus experiencias y proyectos relacionados con los temas del curso.
- **Enseñanza Sistemática:** Promover la interacción constante con los estudiantes, evaluando su comprensión a través de ejemplos proporcionados por ellos mismos.
- **Herramientas Virtuales:** Uso de aplicaciones como Mentimeter para la interacción en línea con los estudiantes.
- **Método del Caso:** Resolución de casos en equipo con exposiciones y discusiones grupales.
- Uso de **herramientas para dinámicas de aprendizaje interactivas** como por ejemplo Kahoot y Educaplay.
- **Clases Virtuales Grabadas:** Para facilitar el acceso al material de clase en cualquier momento.
- **Evaluación Continua:** Implementación de una evaluación continua durante el año, con una estrategia de evaluación variada que combinaba tests, autotests, trabajo práctico final grupal e integrador, con entregas parciales para recibir retroalimentación.

- **Presentación de trabajos prácticos final** destacados del año anterior por los propios estudiantes que lo realizaron, lo cual genera sinergia y proporciona a los nuevos estudiantes una visión práctica del proceso.

4. CONCLUSIONES

Las necesidades globales y regionales en la educación superior, especialmente en el ámbito de la Ingeniería Industrial, exigen una renovación constante de las estrategias para mejorar la calidad educativa y hacer frente a las transformaciones presentadas.

Desde el trabajo previo, basado en las entrevistas, se señaló que la gestión docente implica administrar habilidades personales al mismo tiempo que la responsabilidad por el ejercicio profesional, transversalizando el manejo de la diversidad, la accesibilidad, el respeto, la empatía y la gestión de las comunicaciones (Cerrano et al, 2022).

En base a los resultados obtenidos de la encuesta aquí presentada, se puede observar que la mayoría de los docentes han manifestado hacer adecuaciones y/o modificaciones en las planificaciones a partir de la definición de los nuevos estándares. Las habilidades docentes más señaladas fueron la experiencia en la materia que se dicta y el manejo de una buena comunicación con los diversos actores del ámbito educativo. También se consideró importante la flexibilidad ante los cambios. Con relación a capacitaciones, los contenidos más solicitados para perfeccionarse son los procesos de evaluación, manejo de aulas virtuales y competencias.

Con respecto a la metodología y/o actividades de enseñanza utilizada en la planificación de las clases se destacan un conjunto de materiales y herramientas que corresponden al aprendizaje activo, y se evidencia alta interacción docente–alumno, con actividades dinámicas y uso de tecnología educativa.

La digitalización, la evolución tecnológica y los nuevos desafíos medioambientales, sociales y económicos impulsan la búsqueda de métodos innovadores que no solo mejoren la calidad educativa, sino que también preparen a los futuros ingenieros para adaptarse a entornos en constante cambio.

Esto requiere una educación más flexible y dinámica, que incorpore tecnologías emergentes, fomente el aprendizaje continuo y desarrolle competencias transversales como la resolución de problemas, la colaboración, el pensamiento crítico. La integración de experiencias prácticas, la vinculación con la industria, y el uso de herramientas tecnológicas son esenciales para alinear la formación académica con las demandas actuales del mercado laboral y las necesidades de la sociedad.

5. REFERENCIAS

ASIBEI (2013) Declaración de VALPARAISO sobre competencias genéricas de egreso del Ingeniero Iberoamericano. Valparaíso

Cerrano, Marta Liliana; Gallegos, María Laura; Gómez, Daniela; Hetze Vanesa (2022) “Transformaciones, Habilidades y Competencias Docentes” XV COINI 2022, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina. Publicado en libro de memorias COINI 2022.

Cerrano, Marta Liliana; Gallegos, María Laura; Gómez, Daniela; Hetze Vanesa (2023) “Competencias y caracterización docente: Habilidades, Innovación y Gestión del Cambio en la Educación Superior” XVI COINI 2023, Facultad Regional San Nicolás, Universidad Tecnológica Nacional, san Nicolás, Buenos Aires, Argentina. Publicado en libro de memorias COINI 2023.

Delors, J. (1996): “Los cuatro pilares de la educación” en La educación encierra un tesoro. Informe a la UNESCO de la Comisión internacional sobre la educación para el siglo XXI, Madrid, España: Santillana/UNESCO. pp. 91-103.

Gairín, J.(2011), Formación de profesores basada en competencias, Bordón, 63 (1), 93-108.

Ministerio de Educación, Resolución 1546/2021 RESOL-2021-1546-APN-ME. Ciudad de Buenos Aires, 13/05/2021.

Oser, F.K. y Baeriswyl, F.J.(2001). Choreographies of Teaching: bridging instruction to teaching, en V Richardson (edit.): Handbook of Research on Teaching (4h. Edition). Washington: AERA, pag. 1031-1065

Sánchez, F., Soler, A., Martín, C., López, D., Ageno, A., Cabré, J., García, J., Aranda, J. y Gibert, K. (2018). Competency maps: an effective model to integrate professional competencies across a STEM curriculum. *Journal of Science Education and Technology*, *27*(5), 448-468.

UNESCO (2021). Ingeniería para el desarrollo sostenible. Recuperado de: https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2018/08/sabes-cuales-son-los-17-objetivos-de-desarrollo-sostenible/

Zabalza, M. A. (2003). Las competencias docentes del profesorado universitario: calidad y desarrollo profesional. Madrid: Narcea.

Zabalza, M. A. (2007). La didáctica Universitaria, Bordón Revista De Pedagogía.

Zabalza, M. A. (2022). Coreografías Didácticas en Educación Superior. Madrid: Narcea.

IMPORTANCIA DEL DESARROLLO DE HABILIDADES BLANDAS EN LA SEGURIDAD E HIGIENE LABORAL.

Hollman Yanina Adriana, Bulacios Esteban Jorge

Universidad Nacional Arturo Jauretche
Universidad Nacional La Plata
yanihollman@gmail.com; estebanbulacios@gmail.com

RESUMEN

El presente trabajo identifica las necesidades de adaptación del entorno para una implementación eficaz de la seguridad e higiene industrial en las industrias actuales, incorporando nuevas herramientas como el desarrollo de habilidades blandas. Este enfoque prioriza la prevención de riesgos y promueve entornos laborales seguros, saludables y productivos. Se presentan resultados obtenidos de una encuesta realizadas a docentes, investigadores, estudiantes y representantes del sector productivo vinculados al campo de la ingeniería, los cuales reflejan la valoración de las habilidades blandas como comunicación asertiva, adaptabilidad y trabajo en equipo, destacadas como esenciales para el ámbito de la Seguridad e Higiene Laboral.

Palabras Claves: Desarrollo de habilidades blandas, Adaptabilidad en el trabajo, Comunicación asertiva, Proactividad en seguridad laboral, Gestión del estrés

ABSTRACT

This work identifies the needs to adapt the environment for an effective implementation of industrial safety and hygiene in current industries, incorporating new tools such as the development of soft skills. This approach prioritizes risk prevention and promotes safe, healthy and productive work environments. Results obtained from a survey conducted with teachers, researchers, students and representatives of the productive sector linked to the field of engineering are presented, which reflect the valuation of soft skills such as assertive communication, adaptability and teamwork, highlighted as essential for the field of Occupational Safety and Hygiene.

Keywords: Development of soft skills, Workplace adaptability, Assertive communication, Proactivity in occupational safety, Stress management

1. INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la Seguridad e Higiene Laboral, la prevención de riesgos ha dependido históricamente del cumplimiento normativo y de la correcta implementación de procedimientos técnicos. Estas normativas están diseñadas para minimizar los riesgos físicos y garantizar la seguridad de los trabajadores a través de la aplicación rigurosa de medidas preventivas. En este contexto, el enfoque tradicional ha girado en torno a la aplicación de normativas de salud ocupacional y la implementación de prácticas seguras que permitan reducir la ocurrencia de accidentes laborales.

Sin embargo, en el contexto laboral actual, las demandas de seguridad han evolucionado. Aunque el cumplimiento de las normativas sigue siendo fundamental, estudios recientes han resaltado el valor de las habilidades blandas como un complemento indispensable en la gestión de la seguridad. Estas competencias interpersonales son clave para fomentar equipos de trabajo cohesivos y eficaces, capaces de adaptarse a los desafíos de manera proactiva. Además, han demostrado ser cruciales para establecer una cultura organizacional enfocada en la seguridad y en la colaboración efectiva entre los miembros del equipo.

Las habilidades blandas, que incluyen la comunicación asertiva, el trabajo en equipo, la adaptabilidad y la gestión del estrés, juegan un papel central en la efectividad de la gestión de la seguridad. La inteligencia emocional, que abarca gran parte de estas competencias, ha sido identificada por autores como (Goleman, 1995) como un componente esencial para el liderazgo y la colaboración en entornos laborales. A través de estudios como los de (Bredin, 2011) se ha destacado la importancia de estas habilidades interpersonales en la creación de equipos capaces de prevenir accidentes y promover prácticas seguras. Por su parte, el trabajo de (Salas, 2015) enfatiza cómo la calidad de la comunicación y la cohesión del equipo influencian significativamente el rendimiento en equipos de alta fiabilidad, como los que operan en el ámbito de la Seguridad e Higiene.

En este sentido, el desarrollo de competencias blandas no solo complementa las habilidades técnicas, sino que además mejora la capacidad de los profesionales para gestionar eficazmente situaciones de riesgo. Las habilidades interpersonales permiten anticipar problemas, mitigar peligros y promover una cultura de seguridad colaborativa. En un entorno laboral donde las situaciones cambian rápidamente, la capacidad de adaptarse, comunicarse y trabajar en equipo es fundamental para reducir la probabilidad de accidentes.

Este estudio tiene como objetivo explorar la importancia del desarrollo de habilidades blandas en el ámbito de la Seguridad e Higiene Laboral. Se busca identificar cuáles son las competencias más relevantes y cómo su fortalecimiento puede impactar positivamente tanto en la seguridad de los empleados como en la productividad y el bienestar organizacional. Al hacerlo, se pretende contribuir a una comprensión más profunda de cómo las competencias interpersonales complementan y refuerzan los esfuerzos técnicos en la gestión de la seguridad, promoviendo un entorno laboral más seguro y colaborativo.

A través de este análisis, se espera que las instituciones educativas reconozcan la necesidad de integrar la formación en habilidades blandas dentro de sus programas de seguridad e higiene, asegurando así un enfoque integral que potencie tanto la seguridad como el desarrollo profesional de sus empleados. Como argumentan diversos autores, entre ellos (Company, 2019) el futuro del trabajo no solo se basa en habilidades técnicas, sino también en cómo las personas colaboran y se relacionan eficazmente dentro de su entorno laboral.

2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

2.1 Objetivo General

Determinar la percepción y cómo los encuestados perciben y valoran las habilidades blandas en el contexto de la Seguridad e Higiene Laboral (como la comunicación efectiva, adaptabilidad, trabajo en equipo, proactividad, autocontrol y resolución de problemas) en estudiantes de la carrera de Seguridad e Higiene Laboral.

2.1.2 Objetivos Específicos

1. Evaluar el nivel de conocimiento que los estudiantes de Seguridad e Higiene Laboral tienen sobre las habilidades blandas esenciales para su campo profesional.

2. Identificar las habilidades blandas percibidas como más relevantes para el desempeño profesional en Seguridad e Higiene.

3. Explorar la relación entre la percepción del desarrollo de habilidades blandas y la preparación para el entorno laboral.

3. ALCANCE

Este trabajo tiene como objetivo evaluar la relevancia y el impacto del desarrollo de habilidades blandas en el desempeño profesional de técnicos e ingenieros del área de Seguridad e Higiene Laboral. A través de la recopilación de datos primarios mediante encuestas dirigidas a estudiantes de nivel superior y profesionales en ejercicio, se busca identificar el grado en que habilidades como la adaptabilidad, la comunicación asertiva, el trabajo en equipo, la proactividad y la gestión del estrés influyen en la ejecución de tareas críticas relacionadas con la prevención de riesgos y la implementación de sistemas de gestión de seguridad laboral.

El estudio se focaliza en una muestra de profesionales del sector industrial y académico, permitiendo obtener información clave sobre el nivel de adquisición y aplicación de estas competencias durante su formación y desarrollo profesional. Además, se analiza la percepción que tienen los encuestados respecto a la importancia de estas habilidades blandas en la práctica diaria, y su contribución a la mejora de los estándares de seguridad y eficiencia en el entorno laboral.

4. MARCO TEORICO.

Diversos estudios, como los de (Schultz, 2020) y (Robles, 2012) han demostrado que el dominio de estas habilidades blandas es esencial para complementar las competencias técnicas en el campo de la Seguridad e Higiene.

4.1 Definición de Habilidades Blandas

Las habilidades blandas, también conocidas como competencias transversales o socioemocionales, son un conjunto de capacidades interpersonales, sociales, comunicativas y de gestión emocional que permiten a los individuos interactuar de manera efectiva en entornos laborales. Estas incluyen, entre otras, la comunicación efectiva, el trabajo en equipo, la adaptabilidad, la proactividad, la resolución de problemas y el autocontrol.

A diferencia de las habilidades técnicas, que están relacionadas con el conocimiento y la ejecución de tareas específicas, estas competencias son aplicables a diversas situaciones laborales y resultan cruciales para el éxito en roles de liderazgo, colaboración y gestión de riesgos. Diversos estudios han demostrado que el dominio de estas habilidades es tan importante como el de las competencias técnicas para alcanzar el éxito profesional en cualquier campo (Schultz, 2020).

4.2 Importancia de las Competencias Interpersonales en el Ámbito Laboral

Hoy en día, los empleadores valoran a los trabajadores que, además de dominar las competencias técnicas, posean habilidades que les permitan integrarse y colaborar de manera efectiva en equipos multidisciplinarios. Estas competencias favorecen la creación de entornos laborales más productivos, eficientes y seguros, siendo esenciales en áreas donde la comunicación y la colaboración juegan un papel clave, como es el caso de la Seguridad e Higiene Laboral (Goleman, 1995)

4.3 Relevancia de las Competencias Transversales en la Seguridad e Higiene Laboral

En el campo de la Seguridad e Higiene Laboral, no solo es vital la correcta aplicación de normativas y técnicas de prevención, sino que también se requiere un alto nivel de competencias interpersonales. Los profesionales en este ámbito deben gestionar riesgos, liderar equipos de trabajo y capacitar a otros en la implementación de medidas de seguridad. A continuación, se destacan las principales competencias relevantes para esta especialidad:

Comunicación efectiva: La capacidad de transmitir información clara y precisa es fundamental para asegurar que los procedimientos de seguridad sean comprendidos y aplicados correctamente. La falta

de una adecuada comunicación puede llevar a errores que comprometan la seguridad de los trabajadores.

Trabajo en equipo: La colaboración entre diversas áreas de la empresa es esencial para identificar y mitigar riesgos. Un técnico en seguridad debe coordinarse con otros departamentos, como producción o mantenimiento, para implementar medidas de seguridad aplicables a distintos contextos.

Adaptabilidad: Dado que los riesgos y las situaciones de peligro pueden cambiar rápidamente, especialmente en sectores industriales, los técnicos en seguridad deben ser capaces de adaptarse a nuevas normativas, tecnologías y procedimientos, respondiendo eficazmente a los cambios.

Proactividad: Un profesional proactivo no solo reacciona ante los riesgos existentes, sino que los anticipa. Identificar problemas antes de que ocurran y proponer soluciones innovadoras es esencial para la mejora continua de los sistemas de gestión de seguridad.

Autocontrol y manejo del estrés: Gestionar situaciones de crisis o emergencias es parte del trabajo diario en Seguridad e Higiene. Mantener la calma y tomar decisiones racionales en situaciones de presión es clave para garantizar la seguridad de todos los involucrados.

Resolución de problemas: Evaluar riesgos y encontrar soluciones seguras y eficientes es fundamental en este campo. La capacidad para analizar una situación problemática y desarrollar estrategias de mitigación es crucial para garantizar un entorno laboral más seguro.

4.4 Competencias Interpersonales en la Formación Profesional

Tradicionalmente, la formación en Seguridad e Higiene Laboral se ha centrado en las competencias técnicas, como el conocimiento de normativas, el manejo de equipos de protección y la implementación de procedimientos de seguridad. Sin embargo, en los últimos años, se ha reconocido que un enfoque más integral, que también incluya el desarrollo de competencias transversales, es fundamental para la preparación completa de los profesionales en esta área.

El desarrollo de estas competencias durante la formación académica permite que los futuros profesionales se enfrenten con mayor seguridad y eficacia a los desafíos laborales. Las instituciones educativas juegan un papel clave en este proceso al fomentar estas habilidades mediante metodologías activas, como el trabajo en equipo, proyectos prácticos y simulaciones que imitan situaciones laborales reales.

4.5 Impacto en el Desempeño Laboral

Diversas investigaciones han demostrado que la combinación de competencias interpersonales y técnicas incrementa significativamente el desempeño laboral y la eficacia en la gestión de la seguridad. Un profesional que se comunica adecuadamente, que trabaja en equipo y que es capaz de gestionar su propio estrés, se anticipa a los problemas y es más eficiente en la identificación y control de riesgos. Además, la implementación de estas competencias favorece una cultura preventiva dentro de las organizaciones, reduciendo la siniestralidad y aumentando la conciencia sobre la seguridad en el trabajo (Robles, 2012)

El desarrollo de estas habilidades no solo potencia el rendimiento individual de los profesionales, sino que también es decisivo para fomentar la cohesión dentro de los equipos de trabajo. En el ámbito de la Seguridad e Higiene, la comunicación efectiva, el trabajo en equipo y la adaptabilidad mejoran la capacidad de respuesta ante riesgos y refuerzan la implementación de normativas de seguridad.

Además, competencias como la proactividad permiten anticipar posibles riesgos, mientras que el autocontrol y la gestión del estrés son fundamentales en situaciones de emergencia, donde se requiere actuar con rapidez y mantener la calma. Un profesional que domina estas competencias no solo ejecuta sus funciones con mayor precisión, sino que también aporta estabilidad al equipo en momentos críticos.

El impacto de estas competencias va más allá del rendimiento individual. La capacidad de los equipos para trabajar de manera cohesionada es determinante para la identificación y resolución efectiva de problemas. Los equipos en los que sus miembros poseen habilidades como la comunicación asertiva y la colaboración son más propensos a compartir información de manera fluida y tomar decisiones colectivas más informadas, mejorando la seguridad organizacional.

5. METODOLOGÍA

Los participantes incluyen docentes, investigadores, estudiantes de nivel superior y profesionales en ejercicio del sector industrial y académico procedentes de la Universidad Nacional Arturo Jauretche, permitiendo un análisis detallado de sus percepciones sobre la importancia de las habilidades blandas en el ámbito de Seguridad e Higiene.

5.1 Tipo y diseño de investigación

Para el desarrollo del presente documento sobre habilidades blandas en seguridad e higiene laboral, se ha optado por un enfoque de investigación cuantitativa, dado que se busca obtener datos objetivos y medibles. El tipo de investigación es descriptivo, puesto que el objetivo principal es caracterizar las habilidades blandas percibidas por los estudiantes y profesionales en el ámbito de la seguridad e higiene laboral.

El diseño de la investigación se basa en la aplicación de encuestas estructuradas, las cuales fueron enviadas a una muestra representativa de estudiantes de la Técnica para la carrera de Seguridad e Higiene, así como a profesionales que actualmente ejercen en el sector. Las encuestas se diseñaron con preguntas cerradas y escalas de Likert, lo que facilita la recolección de datos cuantitativos y permite a los encuestados expresar su nivel de acuerdo o desacuerdo respecto a diversas afirmaciones relacionadas con las habilidades blandas.

El proceso de muestreo se realizó de manera aleatoria, garantizando que todos los participantes tuvieran la misma probabilidad de ser seleccionados. Esto contribuye a la validez externa de los resultados, ya que se busca que las conclusiones puedan ser generalizadas a la población de interés.

La recolección de datos se ha llevado a cabo a través de plataformas digitales, lo que permitió un alcance más amplio y una mayor comodidad para los encuestados. Una vez obtenidos los datos, se procederá a realizar un análisis estadístico que incluya medidas descriptivas, así como pruebas de relación entre variables, con el objetivo de identificar patrones y tendencias en las habilidades blandas manifestadas por los encuestados.

5. 2 Instrumentos de recolección de datos

El instrumento fue un cuestionario, el cual constó de 24 preguntas para la variable en estudio: Habilidades blandas siendo agrupadas en sus respectivas dimensiones (Adaptabilidad, Autocontrol, Proactividad, Trabajo en equipo, Comunicación asertiva, Creatividad y Resolución de problemas) y medidas en escala de Likert. La escala permitió evaluar el comportamiento de los colaboradores con respecto al cuestionario.

Tabla 1. Cuestionario de preguntas

		Escala de Likert	5	4	3	2	1
ITEM	DIMENSIONES	HABILIDADES BLANDAS	Totalmente de acuerdo.	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
1	Adaptabilidad	Puedo modificar mi enfoque de trabajo según las nuevas normativas o situaciones en el entorno laboral.					
2		Considero que la flexibilidad es esencial para enfrentar situaciones inesperadas en el área de seguridad y salud ocupacional.					

3		Considero que es necesario adaptarse rápidamente a los cambios para mejorar la seguridad en el trabajo.					
4		Considero que la adaptabilidad es más una habilidad innata que adquirida durante la carrera.					
5	Autocontrol	El autocontrol es esencial para tomar decisiones correctas en momentos de alta presión relacionados con la seguridad.					
6		Puedo controlar mis emociones y mantenerme enfocado/a durante incidentes de seguridad.					
7		Soy capaz de tomar decisiones racionales y medidas adecuadas bajo presión.					
8		Mi carrera me ha enseñado a manejar el estrés y mantener el control en momentos de presión.					
9	Proactividad	Me adelanto a identificar posibles riesgos antes de que se conviertan en un problema de seguridad.					
10		Tomo la iniciativa para proponer mejoras en las medidas preventivas dentro de mi área de trabajo.					
11		Actúo rápidamente ante cualquier señal de riesgo en lugar de esperar a que me lo indiquen.					
12	Trabajo en equipo	Me siento cómodo/a compartiendo ideas y soluciones con mis compañeros para mejorar la seguridad en el trabajo.					

13		El trabajo en equipo es fundamental para garantizar la seguridad de todos en el entorno laboral.					
14		La colaboración entre todos los miembros del equipo es esencial para gestionar riesgos de manera efectiva.					
15		Creo que la capacidad para trabajar en equipo es algo que se aprende durante la formación profesional.					
16	Comunicación asertiva	Soy capaz de comunicar de manera clara y respetuosa cualquier riesgo o problema de seguridad en el entorno laboral.					
17		Escucho activamente las preocupaciones y sugerencias de mis compañeros sobre temas de seguridad.					
18		Me resulta fácil comunicar instrucciones de seguridad a mis compañeros de manera comprensible y directa.					
19	Creatividad	Utilizo la creatividad para encontrar soluciones innovadoras a problemas de seguridad e higiene laboral.					
20		Puedo pensar "fuera de la caja" cuando se trata de mejorar las condiciones de seguridad en el trabajo.					
21		Considero que las soluciones creativas son fundamentales para abordar riesgos que					

		cambian constantemente.					
22	Resolución de problemas	Puedo analizar rápidamente una situación para identificar los riesgos y proponer soluciones.					
23		La capacidad de resolver problemas de manera eficiente es crucial para prevenir accidentes laborales.					
24		Durante mi formación, he aprendido técnicas para resolver problemas en situaciones de riesgo.					

6. RESULTADOS

6.1. Introducción de Resultados

Goleman (1998), Las habilidades blandas o “soft skills”, las habilidades blandas o inteligencia emocional, como él las clasifica, se dividen en dos grandes competencias: a. competencias personales, relacionadas en uno mismo; y b. sociales, que se relacionan con los demás.

Las habilidades blandas se ha operacionalizado en cuatro dimensiones como son; adaptabilidad, autocontrol, comunicación efectiva y Proactividad,

Metodología Utilizada: Encuesta. Método Cuantitativo.

Tamaño de la muestra: 57 encuestados

Criterios de inclusión de los encuestados: docentes, investigadores, alumnos, y medio productivo vinculados a la ingeniería.

6.2. Representación Gráfica

Los gráficos muestran la distribución de las respuestas de los encuestados en relación con la dimensión de Habilidades Blandas aplicadas al ámbito de la Seguridad e Higiene Laboral. Las respuestas reflejan el nivel de acuerdo con afirmaciones que evalúan la capacidad de los profesionales para generar soluciones innovadoras y adaptarse a situaciones cambiantes dentro de este contexto, entre otras.

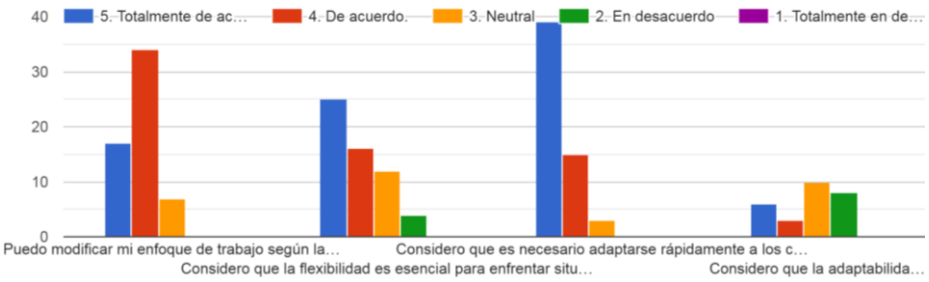


Figura 1 . Resultados de la encuesta, en la dimensión; Adaptabilidad.

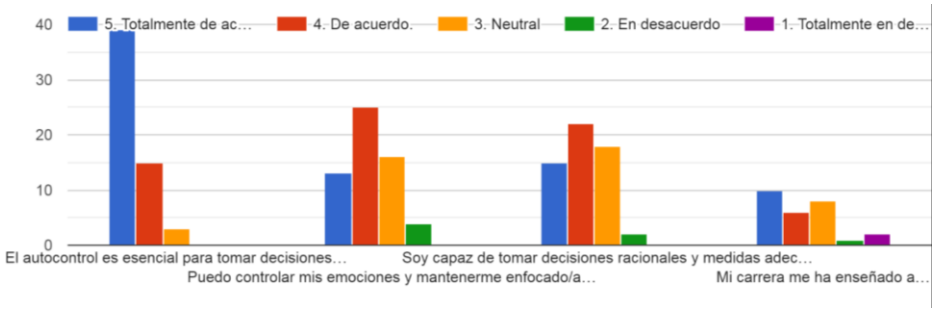


Figura 2. Resultados de la encuesta, en la dimensión; Autocontrol.

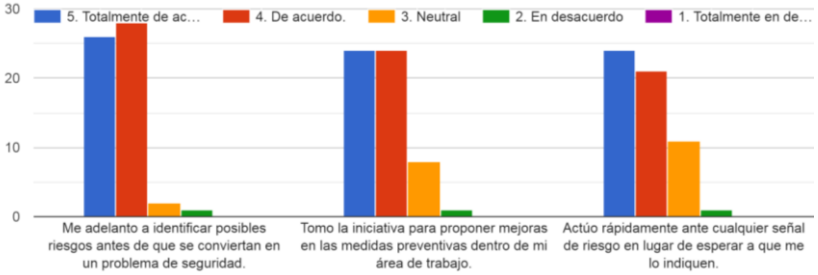


Figura 3. Resultados de la encuesta, en la dimensión; Proactividad.

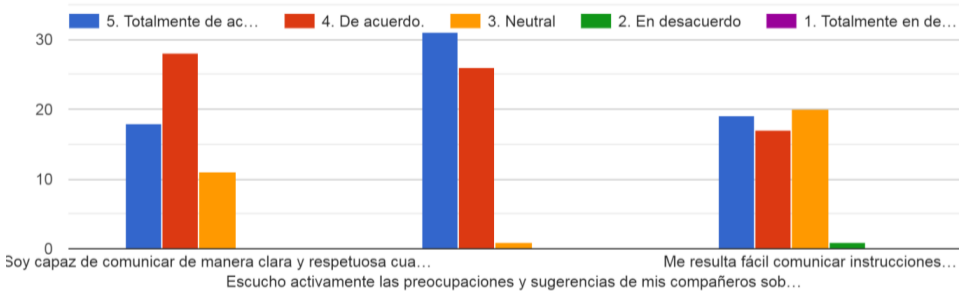


Figura 4. Resultados de la encuesta, en la dimensión; Comunicación Asertiva.

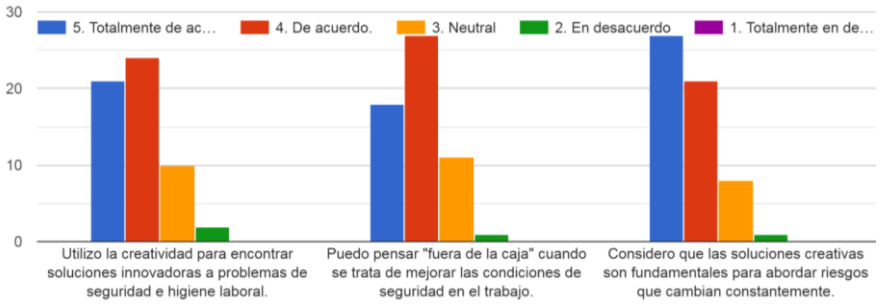


Figura 5. Resultados de la encuesta, en la dimensión; Creatividad.

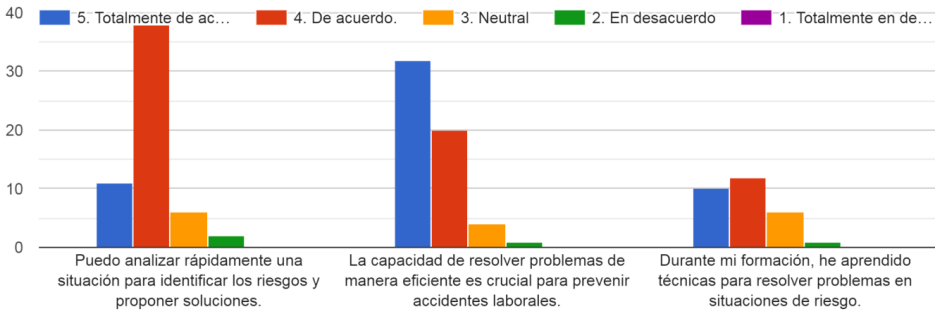


Figura 6. Resultados de la encuesta, en la dimensión; Resolución de Problemas.

6.3. Análisis Cuantitativo

6.3.1. Resultados descriptivos

Variable: Habilidades blandas

Tabla 2 Análisis de Media y Desviación Estándar para cada Dimensión analizada

	Adaptabilidad				Autocontrol				Proactividad			Trabajo en equipo			
Pregunta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Media	4,17	4,07	4,64	3,33	4,60	3,81	3,90	3,75	4,40	4,24	4,21	4,48	4,64	4,71	3,96
Desviación estándar	0,63	0,97	0,58	1,11	0,62	0,87	0,85	1,21	0,65	0,76	0,81	0,73	0,61	0,53	0,88

Tabla 2.1 Análisis de Media y Desviación Estándar para cada Dimensión analizada

	Comunicación asertiva			Creatividad			Resolución de problemas		
Pregunta	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Media	4,14	4,53	3,97	4,12	4,09	4,31	4,03	4,47	3,97
Desviación estándar	0,71	0,54	0,88	0,82	0,76	0,78	0,67	0,71	0,90

6.3.2 Descripción General de los Resultados

Para realizar el análisis de los resultados de la encuesta sobre cómo los encuestados perciben y valoran las habilidades blandas en el contexto de la Seguridad e Higiene Laboral, se propuso el siguiente esquema:

Positivo: Este grupo incluye a las personas que valoran favorablemente la dimensión evaluada. Analizar cuántos encuestados consideran que las habilidades blandas son fundamentales o útiles para la práctica de la seguridad e higiene.

Neutro: Representa a aquellos que mantienen una postura intermedia, sin una inclinación clara hacia lo positivo o negativo. Se pueden explorar posibles causas de esta neutralidad, como la falta de conocimiento o de experiencias directas en la aplicación de habilidades blandas en este ámbito.

Negativo: Este grupo engloba a quienes perciben las habilidades blandas como poco relevantes o directamente innecesarias. Será importante analizar cuántos encuestados tienen esta postura y, de ser necesario, profundizar en por qué no perciben el valor de estas competencias en su contexto profesional.

Tabla 3. Agrupamiento de Escala Likert

Positivo		Neutral	Negativo	
Totalmente de acuerdo.	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo

La tabla 4 presenta los resultados sobre cómo los encuestados perciben y valoran diferentes dimensiones de habilidades blandas aplicadas a la Seguridad e Higiene Laboral. Cada dimensión refleja las respuestas agrupadas en categorías de valoración Positivo, Neutro y Negativo

Tabla 4. Distribución de frecuencias de las dimensiones de habilidades blandas

Dimensiones	Niveles	Frecuencia	Porcentaje %
Adaptabilidad	Positivo	40	70
	Neutro	10	18
	Negativo	7	12
Autocontrol	Positivo	42	74
	Neutro	10	18
	Negativo	5	8

Proactividad	Positivo	48	84
	Neutro	6	10
	Negativo	3	6
Trabajo en equipo	Positivo	205	88
	Neutro	22	9
	Negativo	5	2
Comunicación asertiva	Positivo	141	81
	Neutro	32	18
	Negativo	1	1
Creatividad	Positivo	141	81
	Neutro	29	17
	Negativo	4	2
Resolución de problemas	Positivo	145	83
	Neutro	22	13
	Negativo	7	4

Trabajo en equipo es la habilidad mejor valorada, lo que indica que los encuestados consideran el trabajo colaborativo como fundamental en el contexto de la seguridad e higiene.

Proactividad, resolución de problemas y autocontrol también son muy valoradas, lo que sugiere que los encuestados reconocen la importancia de estas habilidades para prevenir y manejar situaciones críticas.

Comunicación asertiva y creatividad tienen más respuestas neutras en comparación con otras dimensiones, lo que podría señalar que algunos encuestados no perciben estas habilidades como esenciales en su día a día.

El desarrollo de habilidades blandas es crucial en el ámbito de la Seguridad e Higiene Laboral, ya que complementa las competencias técnicas necesarias para prevenir riesgos y garantizar la seguridad de los trabajadores. Estas habilidades no solo permiten una mejor gestión de las situaciones de riesgo, sino que también promueven un entorno de trabajo colaborativo, adaptable y resiliente. A medida que los programas de formación continúan evolucionando, la inclusión de estas competencias transversales debe ser una prioridad para garantizar el éxito y la seguridad en el ámbito laboral.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En un contexto laboral en constante evolución, las expectativas de los empleadores van más allá del dominio de habilidades técnicas, valorando cada vez más el desarrollo de competencias transversales o habilidades blandas. En particular, el campo de Seguridad e Higiene Laboral demanda una combinación equilibrada entre conocimientos técnicos y habilidades interpersonales, dado que los profesionales de esta área deben no solo aplicar normativas, sino también liderar equipos, comunicar eficazmente y gestionar situaciones de crisis.

Las nuevas búsquedas laborales reflejan esta necesidad, priorizando a candidatos que, además de contar con una sólida formación técnica, sean capaces de trabajar en equipo, adaptarse rápidamente a cambios normativos o tecnológicos, y mantener el control en momentos de presión. En este sentido, se recomienda encarecidamente que los programas de formación en Ingeniería, y en particular en la asignatura de Seguridad e Higiene, incorporen de manera estructurada el desarrollo de habilidades blandas.

En conclusión, el desarrollo de habilidades blandas es crucial para el desempeño efectivo en Seguridad e Higiene Laboral. La combinación de competencias técnicas e interpersonales fortalece la capacidad de los profesionales para enfrentar desafíos complejos, reducir riesgos y promover una cultura

organizacional de seguridad. Personalmente, considero que los programas de formación deberían priorizar estas competencias para asegurar un enfoque integral en la preparación profesional.

7.1 Beneficios de la integración de habilidades blandas en la formación en Seguridad e Higiene Laboral:

Mejora en la gestión de riesgos: Habilidades como la comunicación asertiva y la proactividad permiten a los futuros ingenieros identificar y mitigar riesgos de manera más efectiva, promoviendo un ambiente de trabajo más seguro.

Cohesión y liderazgo en equipos: El fomento de competencias como el trabajo en equipo y el liderazgo fortalece la capacidad de los profesionales para coordinar esfuerzos en situaciones críticas, reduciendo la posibilidad de errores humanos.

Adaptabilidad y respuesta ante emergencias: La adaptabilidad permite a los estudiantes responder eficazmente a situaciones cambiantes o inesperadas, una habilidad crucial en el ámbito de la Seguridad e Higiene, donde los riesgos pueden evolucionar rápidamente.

Mayor empleabilidad y competitividad: Los egresados que dominen tanto las habilidades técnicas como las blandas tendrán una ventaja competitiva en el mercado laboral. Los empleadores buscan candidatos que no solo puedan ejecutar tareas, sino que también sepan liderar, comunicar y resolver problemas de manera autónoma y eficiente.

Promoción de una cultura de seguridad: Un profesional de seguridad que posea habilidades blandas bien desarrolladas puede promover y consolidar una cultura organizacional de seguridad, que fomente la responsabilidad compartida y el compromiso de todos los empleados en la prevención de riesgos.

7.2. Propuesta para la implementación

Se sugiere que los programas de Ingeniería incluyan módulos específicos dentro de la asignatura de Seguridad e Higiene Laboral que se centren en el desarrollo de habilidades blandas, utilizando metodologías activas como:

Simulaciones de situaciones de riesgo, donde los estudiantes deban demostrar su capacidad para comunicarse, liderar y tomar decisiones bajo presión.

Proyectos de trabajo en equipo que integren la identificación de riesgos y la resolución de problemas de manera colaborativa.

Capacitaciones sobre gestión del estrés, que preparen a los estudiantes para mantener el control emocional en situaciones críticas.

Esta integración permitirá que los futuros ingenieros estén mejor preparados para enfrentar los desafíos actuales del entorno laboral, donde la capacidad de adaptarse, colaborar y gestionar riesgos es tan esencial como el conocimiento técnico en Seguridad e Higiene.

8. REFERENCIAS.

Alles, M. (2007). Desarrollo del Talento Humano basado en competencias. Buenos Aires: Granica.

Alles, M. (2007). Elija al mejor: Como entrevistar por competencias. Buenos Aires: Granica.

Bredin, K., & Söderlund, J. (2011). The role of communication in safety management: A qualitative study of the safety management practices of organizations in different sectors. Safety Science.

Goleman, D. (1995). Inteligencia emocional: Por qué puede importar más que el cociente intelectual. Editorial Kairós.

McKinsey & Company. (2019). The future of work: A journey to 2022.

Mina, M. A. E., & Barzola, D. G. (2020). Habilidades blandas en la educación y la empresa: Mapeo Sistemático. Revista Científica Uisrael, 7(2), 39-56.

Ordores Lazaro, G. (2023). El impacto de habilidades blandas en el desempeño laboral de una empresa industrial, Lima 2023– LIMA - PERÚ, año 2023. [Tesis de Maestría, Perú, Universidad Cesar Vallejos]

Robles, M. (2012). Habilidades interpersonales y su impacto en la seguridad laboral. Revista de Seguridad Industrial, 15(3), 45-58.

Salas, E., Shuffler, M., Thayer, A. L., Fredrickson, E., & D'Innocenzo, L. (2015). Entendiendo y mejorando el trabajo en equipo en las organizaciones: Un enfoque científicamente fundamentado. Human Resource Management Review.

Schultz, T. (2020). Desarrollo de habilidades blandas en el entorno laboral: Claves para el éxito profesional. Editorial Académica.

"ESTUDIO DE UN PROCESO DE COMPRESIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AIRE HÚMEDO CON UN SOFTWARE DE CÓDIGO ABIERTO Y GRATUITO"

Montesano, Juan; Antoniuk, Laura; Diego, García

UNLa (Universidad Nacional de Lanús)
juanmontesano45@gmail.com

RESUMEN

La simulación de procesos industriales es una herramienta que permite reproducir virtualmente los procesos y estudiar su comportamiento, para analizar el impacto de las distintas variables que puedan intervenir en el mismo, o para comparar diferentes alternativas de diseño, sin el alto costo. Esta es de gran ayuda a la hora de disminuir los riesgos y optimizar la toma de decisiones, así como para planificar, analizar y mejorar los procesos. El trabajo de innovación educativa se centra en el impacto del uso de simuladores de procesos en el aprendizaje del grupo áulico. El objetivo es facilitar la comprensión de los procesos industriales y promover el aprendizaje autónomo entre los estudiantes. La simulación se realiza con el simulador DWSIM de código abierto y descarga libre. Cabe destacar, que puede ejecutarse en diferentes sistemas operativos y requiere pocos requisitos de hardware para ser instalado. El trabajo está elaborado con una simulación donde se comprime aire húmedo utilizando un compresor centrífugo con un tanque receptor que sirve como un depósito donde la temperatura y la velocidad se reducen, permitiendo que el agua que contiene el aire precipite. El programa permite modificar la humedad en la alimentación, la relación de compresión, cantidad de agua condensada, y en el tanque variar su capacidad y el tiempo de residencia. Se espera que esta herramienta influya positivamente en el aprendizaje de los estudiantes, fomentando tanto el trabajo individual como el colaborativo y la socialización, enriqueciendo así la experiencia educativa.

Palabras Claves: Innovación educativa**,** Simulación, DWSIM, Compresión, optimización de procesos

ABSTRACT

Educational simulators are tools that fall within the scope of the pedagogical model (experiential learning) and its practical application: (learning by doing). This approach, in which the student takes an active role in the process, has proven to be much more effective than other traditional teaching methods. As a quote attributed to the philosopher Confucius says: if I hear, I forget; if I see, I remember; if I do, I understand. Since simulators allow students to learn at their own pace and provide immediate feedback, they can also be considered partially within the category of adaptive learning tools. An educational simulator can come in many forms that vary immensely in levels of sophistication and human interaction; from a set-up of a given situation with actors who know how and when to react, to virtual reality software that changes the parameters of the environment according to the user's actions. The work has been carried out with DWSIM, which is an open-source chemical process simulator that is free to download and is in Spanish, and which complies with the Cape-Open standard, that is, it complies with the engineering standard that allows the interoperability of solutions, giving the user the option of combining modeling interfaces from different software or programs with each other, being the first open-source software to use the Cape-Open standard. DWSIM has a fairly complete and easy-to-use graphical interface, so it has nothing to envy of commercial options. As an example, the simulation of a wet air centrifugal process has been carried out with an air receiver tank that serves as a buffer that guarantees a more stable pressure within the compressed air system. By reducing the frequency of the compressor cycle, the air receiver tank contributes to energy savings and prolongs the life of the compressor, it also helps to reduce the temperature of the compressed air, this is especially beneficial since colder air retains less moisture and therefore a significant part of liquid water is removed from the compressed air flow.

Keywords: Simulation, DWSIM, Compression, Atmospheric Air, Tank.

1. INTRODUCCIÓN

Los simuladores educativos son herramientas que entran en el ámbito del modelo pedagógico (aprendizaje experiencial) y su aplicación práctica: (aprender haciendo). Este enfoque, en el que al alumno toma un papel activo en el proceso, ha demostrado ser mucho más eficaz que otros métodos de enseñanza tradicional. Como bien dice una cita atribuida al filósofo Confucio: si escucho, olvido; si veo, recuerdo; si hago, comprendo. Dado que los simuladores permiten que los alumnos aprendan a su propio ritmo y brindan feedback inmediato, también pueden considerarse parcialmente dentro de la categoría de herramientas de aprendizaje adaptativo.
Un simulador educativo puede venir en muchas presentaciones que varían inmensamente en niveles de sofisticación e interacción humana; desde un montaje de una situación determinada con actores que saben cómo y cuándo reaccionar, hasta un software de realidad virtual que cambia los parámetros del ambiente de acuerdo con las acciones del usuario.
Al respecto, Cañizares Gutiérrez (2021) (Daniel, 2021) afirma que los simuladores de procesos químicos son muy importantes, ya que, gracias a ellos, se puede comprobar de manera visual cómo una idea se podría extrapolar a la realidad, viendo si se asemeja a los estudios previos y a lo que se quiere obtener.
El proyecto de simulación de procesos se desarrollará en la Universidad de Lanús, en la materia de cursado cuatrimestral Industria y Tecnología de los Alimentos I, correspondiente al segundo año en el plan de estudio de la Licenciatura en Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Se implementará en las clases de práctica de la materia, contando con la participación de todo el equipo de la cátedra,
En la primera parte del proyecto, se realizó el estudio con DWSIM que es un simulador de procesos químicos de código abierto descarga libre y en español, que cumple con el estándar Cape-Open, es decir, cumple con el estándar de ingeniería que permite la interoperabilidad de soluciones, lo que le da al usuario la opción de combinar interfaces de modelamiento de diferentes software o programas entre sí, siendo el primer software de código abierto en utilizar el estándar Cape-Open. DWSIM cuenta con una interfaz gráfica bastante completa y fácil de utilizar, por lo que no tiene nada que envidiar a opciones comerciales.
Como ejemplo, se ha realizado la simulación de un proceso de compresión de aire húmedo con un tanque receptor (ícono semejante) de aire que sirve como un amortiguador que garantiza una presión más estable dentro del sistema de aire comprimido. Al reducir la frecuencia del ciclo del compresor, el tanque receptor de aire contribuye al ahorro de energía y prolonga la vida útil del compresor, también ayuda a reducir la temperatura del aire comprimido, esto es especialmente beneficioso ya que el aire más frío retiene menos humedad y por lo tanto se elimina una parte significativa de agua líquida del flujo de aire comprimido.

En una etapa posterior y habiendo comprobado el funcionamiento del simulador con fines didácticos y de apoyo al aprendizaje, se llevará al aula para que los estudiantes puedan analizar las características y variables de un proceso, extraer conclusiones y luego actuar de acuerdo a ellas.

2. PARTE ANALÍTICA

2.1 Modelo proceso aire húmedo comprimido

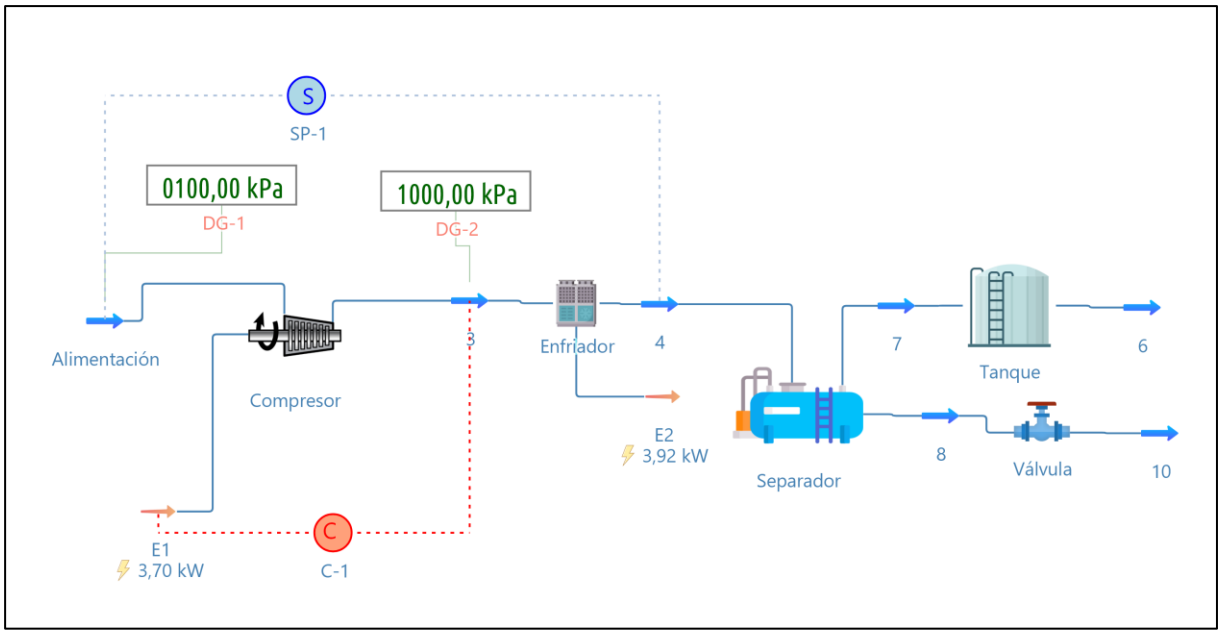


Figura1: Diagrama de flujo (Flow sheet) del proceso simulado. Copia de la pantalla del simulador

En la primera parte del proyecto se simuló un proceso de compresión de aire húmedo con una φ= 60% (humedad relativa) que ingresa **por Alimentación a** una temperatura 20 °C y una presión de 100 kPa**.** El valor del caudal de aire húmedo 36,319 kg/h (caudal másico 36 kg/h de aire seco y 0,319 kg/h de agua como vapor sobrecalentado) se inicia el cálculo en **la Hoja** de **cálculo** y se exporta a la corriente de entrada. Este es comprimido en un compresor hasta lograr una relación de compresión 10, utilizando una potencia **E-1** 3,70 kW. El aire a la salida del compresor (3) técnicamente ingresaría a un tanque donde se enfriaría hasta la temperatura ambiente, en este trabajo se modeliza ese proceso, adicionando un enfriador que disipa 3,92 kW para lograr una t_4= 20°C.La precipitación del agua a °C empieza en este equipo. Se coloca un separador para eliminar el agua y llenar el tanque de una capacidad de 2 m^3, con aire seco. El drenaje del separador es por medio de una válvula a presión atmosférica.

2.2 Uso de los bloques lógicos

Se instalan dos bloques lógicos un bloque controlador C-1 y un bloque de especificaciones SP-1. El primero permite manipular el flujo de energía en el compresor controlando la presión de salida y la segunda copia en 4 la temperatura de la alimentación (20°C).

- Colocar controlador → **C-1**
- En la ventana de **Compresor→ Tipo de cálculo→ Energy Stream→ E-1→** 3,70kW**→Ente**r.
- C-1**→ Objeto manipulado→E-1->Propiedad manipulada→ Flujo de energía**
- **Objeto controlado → 3 → Propiedad controlada → Presión**
- **Set- point (kPa)→ 1000**
- **Start Adjust → Enter**

Si se cambia la presión a la salida del compresor en Set-point, se modificará le potencia necesaria

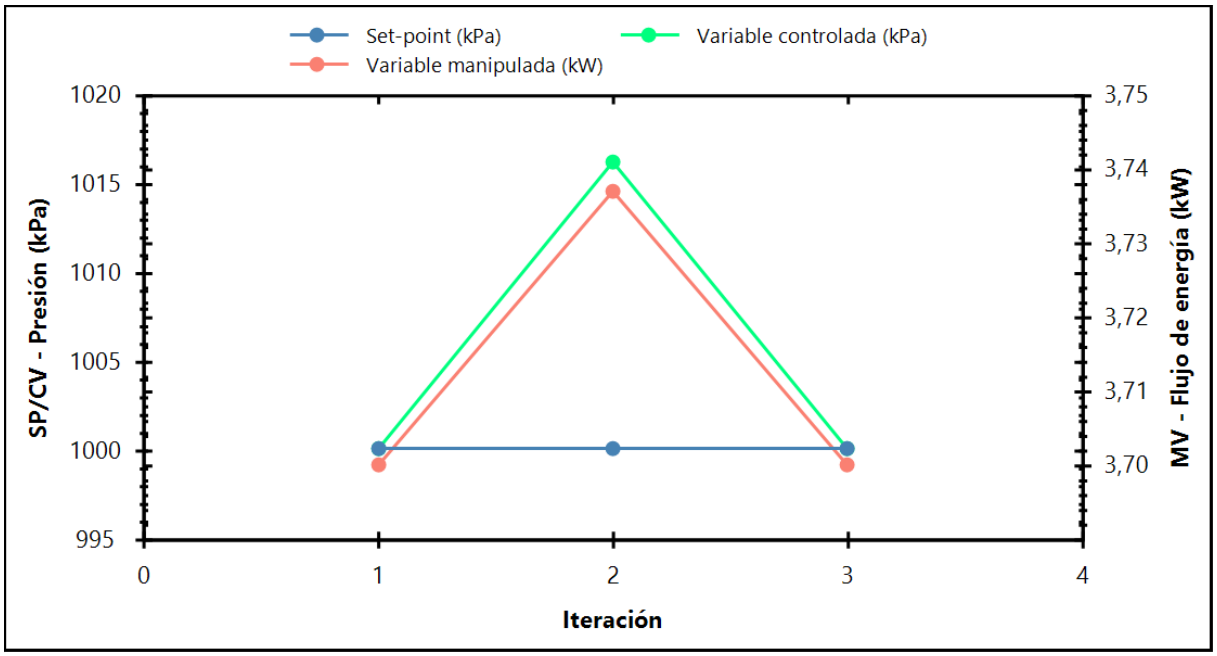


Figura 2. Iteraciones vs Set- point, Variable manipulada, Variable controlada. Copia de la pantalla simulador

- Colocar -> SP-1
- Objeto origen (Source object) → Alimentación → Temperatura→ 20°C
- Objeto destino (Target object)→ 5→ temperatura 20°C
- Expresión → X
- Si se cambia la temperatura en la alimentación, se leerá la misma temperatura en 5

2.3 Indicadores

Se colocan medidores digitales en alimentación y en 3 que irán modificándose al variar la presión en alimentación y en **3**

- **Indicadores→ Medidor digital→ DG-1**
- **Objeto→Alimentación**
- **Propiedad→presión**
- **Property Tipy→ Pressure**
- **Property Units→ kPa**
- **Integer Digits→ 4**
- **Decimal Digits→ 2**

Con el medidor a la salida del compresor se procede en forma semejante

2.4. Estudio de sensibilidad

Para interpretar los resultados, se realiza un estudio de sensibilidad. Al respecto Jiménez (JIMENEZ OCAÑA, 2018)Ocaña (2018) afirma que es conveniente desarrollar análisis de sensibilidad en módulos de simulación y en procesos sencillos, para que el alumno comprenda la aplicación ingenieril de estas herramientas.

Se abre la ventana de **Utilidades de diagrama de flujo** y se hace un **Estudio de sensibilidad** en el compresor y en el tanque

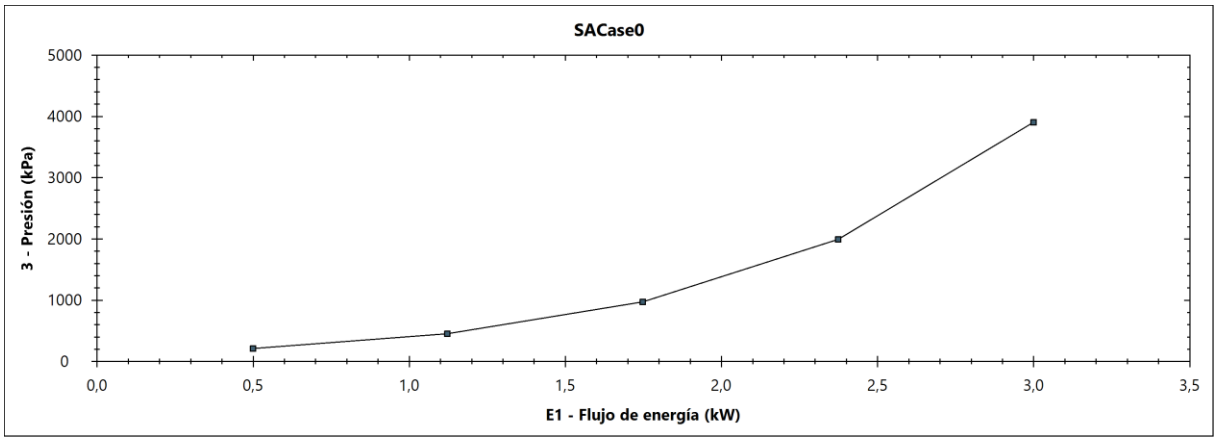


Figura 3. Flujo de energía vs Presión. Copia de la pantalla del simulador

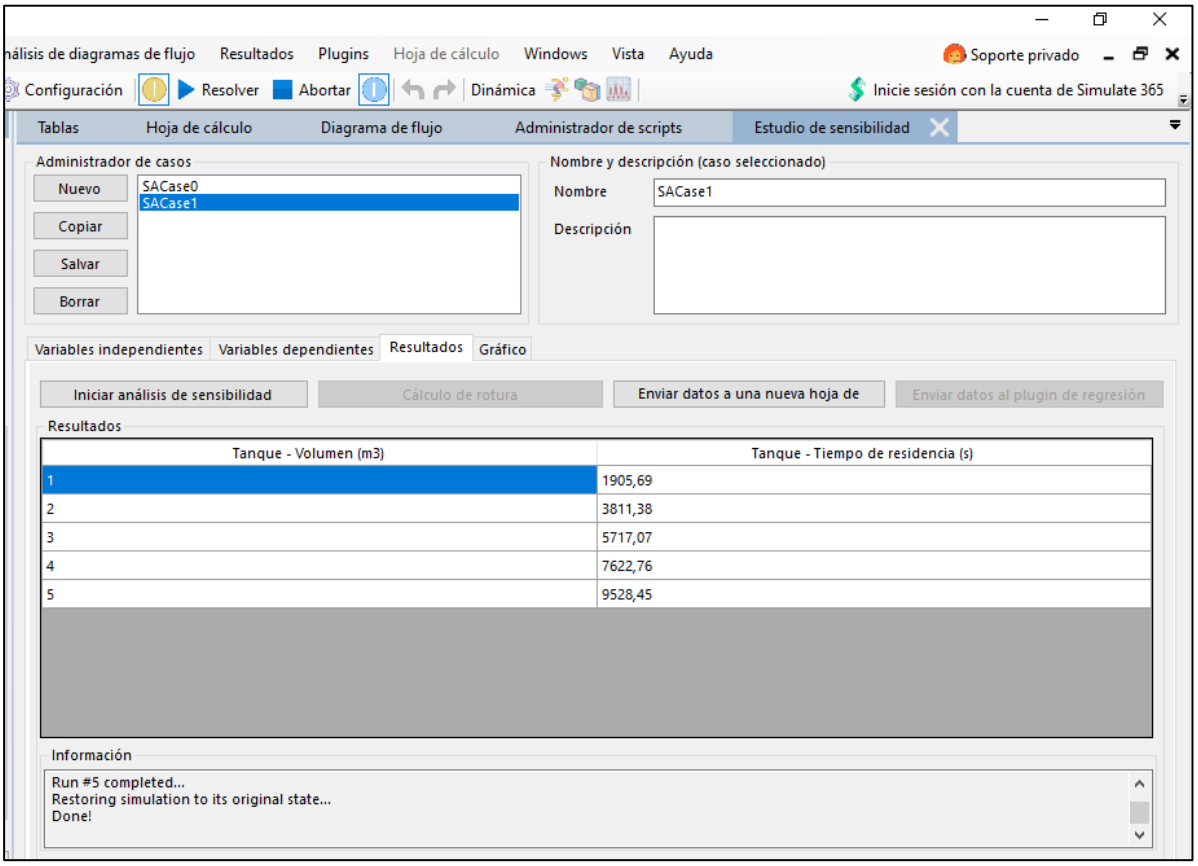


Figura 4. Tabla Volumen del tanque vs Tiempo de residencia. Copiado de pantalla simulador

También, puede presentarse este resultado con gráfico con los mismos mecanismos que aparecen en Figura 3

2.5. Determinación de temperatura donde empieza a precipitar el agua y verificación

Observando la tabla de propiedades (ver Figura 5) la corriente 3 posee un flujo másico (líquido total) igual a 0 mientras que la corriente 4 tiene un valor de 0,270942 kg/h, lo que indica que, debido a la pérdida de 3,92 kW, en el enfriador, ha habido condensación de agua. Este es el flujo de agua precipitada.

2.6 Cálculo de la temperatura donde empieza a precipitar

Aplicando conceptos de psicrometría la cantidad de agua precipitada 0,266 kg/h; muy semejante al valor obtenido con el simulador (0,270942 kg/h) y la temperatura donde se inicia la condensación, utilizando tablas de vapor de aproximadamente de 52°C

Tabla 1. Tabla de propiedades

PROPERTIES TABLE			
Alimentación	Temperatura	20	C
Alimentación	Presión	100	kPa
Alimentación	Flujo másico	36,319	kg/h
Compresor	Aumento de presión	9,17543	kgf/cm2
Compresor	Eficiencia adiabática	74,9999	%
Compresor	Diferencia de temperatura	354,468	C.
Compresor	Potencia requerida	3,69984	kW
Enfriador	Temperatura de salida	20	C
Enfriador	Calor eliminado	3,918	kW
Tanque	Tiempo de residencia	2388,12	s
Tanque	Volumen	2	m3
3	Flujo másico (líquido total)	0	kg/h
4	Flujo másico (líquido total)	0,270942	kg/h
7	Flujo másico	36,0481	kg/h
7	Presión	1000	kPa
8	Flujo másico	0,270942	kg/h
8	Presión	1000	kPa

3. CONCLUSIONES

Finalizada la primera parte del proyecto se pudo comprobar que el simulador permite desarrollar el diagrama de flujo, correctamente, donde se pone en juego conocimientos de Matemáticas Física, Química, Termodinámica, Industrias I, etc. Se pueden realizar maniobras con los parámetros establecidos de entrenamiento variando los controles lógicos para obtener diferentes opciones donde el estudiante deberá elegir como manejar la información. El uso del simulador requiere de un esfuerzo en la planeación del docente ya que puede contrastar diferentes escenarios.
En la segunda parte del proyecto, el simulador será incorporado en las clases prácticas del aula, buscando promover la motivación del estudiante, que es un factor preciso y complejo en el proceso de aprendizaje. Es imprescindible, que se garantice buenos resultados en la práctica educativa, se promueva la voluntad y estimule el interés y una participación empática.

4. REFERENCIAS

Scenna, N. (1999) Modelado*, simulación y optimización de procesos químicos*. (1ª ed.) Buenos Aires: UTN Autor- Editor Dr. Nicolás Scenna

Cañizares Gutiérrez, C.D. (2021) *Estudio comparativo de cálculo de propiedades entre los programas de simulación: el caso de UNISIM y DWSIM* (1a ed.) España: Universidad de la Laguna Colecciones TFG Ingeniería química industrial

Jiménez Ocaña, J.C. (2018) *Simulación de procesos* (1ª ed.) México: Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez

Mac Cabe, W., Smith, J., Harriot, P. (2005). *Unit Operations of Chemical Engineering*. EE. UU: Mc Graw Hill.

Cengel, Y. y Boles, M.A. (2003) *Termodinámica* (5a ed.). México: MC GRAW HILL

Gerrero Martínez, A. D. (2021) *Introducción al programa UNISIM.* Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=isPDBKIWS9M

Iglesias, O. A. y Paniagua C. N. (2013) *Conceptos básicos de simulación de procesos*. (1a ed.) Buenos Aires: Editorial de la Universidad Nacional de la Plata

"RELEVAMIENTO DEL CONTEXTO Y PARTES INTERESADAS DE LA INGENIERÍA INDUSTRIAL EN LA IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO E-BLENDED"

Carrizo Blanca [1]; Abet Jorge [1]; Gallegos Laura [2]; Cinalli, Marcelo [2]

Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional [1]
GICCAP "Grupo de Investigación en Control Avanzado de Procesos y Producción
bcarrizo@frc.utn.edu.ar, jabet@frc.utn,edu,ar
Facultad Regional San Nicolás, Universidad Tecnológica Nacional [2]
GIMCo "Grupo de Investigación en Gestión, Innovación y Mejora Continua"
mgallegos@frsn.utn.edu.ar; cinalli@frsn.utn.edu.ar

RESUMEN

En el marco del proyecto de investigación "Evaluar la factibilidad de desarrollar una propuesta e-blended para la carrera Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN), investigadores de las Facultades Regionales Córdoba (FRC) y San Nicolás (FRSN), realizaron diversos estudios para caracterizar un diseño híbrido aplicable a la especialidad. Los primeros trabajos se enfocaron en aspectos técnicos e instrumentales, como la factibilidad de implementación, aplicabilidad, marco reglamentario en UTN y experiencias comprobadas de diseños de EaD. Luego, se avanzó en el análisis de oportunidades de materias electivas de dictado e-blended y una propuesta preliminar de diseño híbrido por competencias. Finalmente, se analizó el contexto y grupos de interés, con el objetivo de indagar principales necesidades y apreciaciones entre usuarios (estudiantes, docentes) y referentes de gestión de la carrera (directores y coordinadores) a través de cuestionarios semiestructurados. Los resultados obtenidos se describen en el presente trabajo. La metodología utilizada presenta un enfoque mixto y técnicas basadas en la complementariedad para la triangulación. Las propuestas e-blended, impactan cada vez más sobre las tendencias puras (virtual o presencial) en la Educación Superior, consolidando espacios sostenidos institucionalmente, que favorecen la accesibilidad, la masividad y el desarrollo de nuevas competencias mediadas por tecnología.

Palabras Claves: E-blended. Ingeniería Industrial. Competencias. Diseño curricular

ABSTRACT

Within the framework of the research project "Evaluate the feasibility of developing an e-blended proposal for the Industrial Engineering career of the National Technological University (UTN), researchers from the Regional Faculties of Córdoba (FRC) and San Nicolás (FRSN), carried out various studies to characterize a hybrid design applicable to the specialty. The first works focused on technical and instrumental aspects, such as the feasibility of implementation, applicability, regulatory framework in UTN and proven experiences of EaD designs. Then, progress was made in the analysis of opportunities for e-blended teaching electives and a preliminary proposal for a hybrid design by competencies. Finally, the context and interest groups were analyzed, with the aim of investigating the main needs and appreciations among users (students, teachers) and career management referents (directors and coordinators) through semi-structured questionnaires. The results obtained are described in the present work. The methodology used presents a mixed approach and techniques based on complementarity for triangulation. E-blended proposals increasingly impact pure trends (virtual or face-to-face) in Higher Education, consolidating institutionally supported spaces that favor accessibility, massiveness and the development of new skills mediated by technology.

Keywords: E-blended. Industrial Engineering. Competencies. Curriculum Design

1. INTRODUCCIÓN, OBJETIVO Y METODOLOGÍA

Numerosos estudios, como el trabajo de investigación desarrollado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Ceferino Orjuela & Mayorga Valbuena, 2020), constatan la necesidad de formación de profesionales integrales, y afirman la necesidad del estudio cognitivo derivado de las competencias digitales y el enfoque STEAM para fortalecer capacidades indispensables para la innovación tecnológica. La pandemia ha sido un escenario de incertidumbre que evidenció vulnerabilidad digital en el contexto de la Universidad en general y de las carreras de grado en particular, presentando múltiples oportunidades (Cerrano et al., 2021). Este nuevo paradigma implicó un cambio profundo en la estructura de presencia territorial de la Educación Superior, exteriorizando la necesidad de desregionalizar y descentralizar la propuesta pedagógica mediante el paso de comunidades locales de aprendizaje a comunidades virtuales. (Cruder, Cigala, & Bergomas, 2021) Los nuevos formatos, hacen necesario analizar estructuras actuales para el apoyo técnico y tecnológico, de diseño y soporte, que a fines de la UTN pueden plantearse e instrumentarse de manera institucional, corporativa y federal desde una unidad de soporte.

En el marco de un equipo interdisciplinario, conformado por dos (2) regionales: Facultad Regional Córdoba (FRC), Facultad Regional San Nicolás (FRSN), se estudia el desarrollo de un diseño e-blended para la carrera Ingeniería Industrial (UTN, 2022-2024) de alcance regional y con impacto nacional, en la búsqueda de capitalizar las experiencias y aprendizajes de la pandemia, integrando recursos digitales (TIC) y enfoque por competencias (Confedi, 2018), fomentando la alianza entre las competencias digitales y didácticas para formación de los profesionales en la especialidad.

Los primeros trabajos vinculados al proyecto, se enfocaron en describir aspectos técnicos e instrumentales, como la factibilidad de implementación, aplicabilidad, marco reglamentario en UTN y experiencias comprobadas de diseños de EaD. (Carrizo *et al*., 2021) En siguientes investigaciones, se avanzó en el análisis de oportunidades de materias electivas de dictado e-blended (Carrizo *et al.*, 2022) y una propuesta preliminar de diseño híbrido por competencias. (Carrizo *et al*., 2024) Para conocer necesidades y apreciaciones acerca del diseño y desarrollo curricular e-blended en asignaturas de Ingeniería Industrial, se consultó a estudiantes (Carrizo *et al.*, 2022) y docentes (Carrizo *et al.*, 2023) de las facultades regionales Córdoba y San Nicolás mediante una encuesta semiestructurada. Para completar este último análisis, las indagaciones se orientaron a consultar a responsables y/o referentes de la Dirección de la carrera, en primera instancia, realizando un relevamiento piloto y testeo de instrumento (Gallegos *et al*.,2024), y posteriormente, llevando a cabo el muestreo y diagnóstico. El objetivo de este trabajo es describir el relevamiento y análisis de la encuesta realizada y sus resultados.

El desarrollo metodológico utiliza un enfoque mixto y técnicas basadas en la complementariedad para la triangulación metodológica, desde el uso y contraste de múltiples métodos, variedades de datos, investigadores y teorías, en el estudio de un mismo objeto. Se utiliza un instrumento de recolección de datos semiestructurado, para relevar distintas perspectivas, incluyendo estrategias y datos cualitativos y cuantitativos, siguiendo la propuesta metodológica de Sampieri (2006), Castillo Arredondo y Medina Rivilla (2003).

2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

Un aula híbrida (e-blended) es un entorno de aprendizaje que incluye una combinación de estudiantes que están presentes en el aula física y también participantes que se incorporan a la clase de forma virtual. Es decir, las clases se organizan en grupos de estudiantes que rotan según los días para asistir de manera presencial, mientras que el otro grupo toma la clase en la modalidad online, todo ello contando con la tecnología adecuada. De acuerdo con Rama, constituye una nueva educación, que contribuye e impulsa la democratización de la Educación Superior. (Rama, 2021)

Un modelo híbrido se presenta en un escenario en construcción dentro de la Universidad que va más allá de la implementación técnica de un aula; interpela con nuevas preguntas respecto a la organización del tiempo y el espacio, a las actividades de aprendizaje que se propone a los grupos de estudiantes (remotos y presenciales físicamente) y a las técnicas de evaluación. (Galvis, López, & Aarón, 2018) En palabras de Rama, la educación híbrida, *"es una nueva educación para contribuir e impulsar la democratización de la educación superior, e incluso ser la única que pueda alcanzar a ser un bien público al articularse a las redes digitales"* (Rama, 2021)

De acuerdo con el informe realizado por Arias Ortiz e investigadores del Banco Iberoamericano del Desarrollo (BID), el modelo de educación híbrida requiere distribuir contenidos entre plataformas y clases presenciales, desarrollar modelos de enseñanza y aprendizaje que permitan capturar la atención y el

interés de los estudiantes y asegurar interacciones significativas e integradas del estudiante con el contenido, con sus compañeros y con los docentes (BID, 2020)

Burgos Figueroa destaca los efectos de la irrupción y masificación de las tecnologías de la información y comunicación las dificultades de los sistemas tradicionales de educación por atender la demanda, señalando a la educación a distancia como una alternativa concreta, y que puede habilitar oportunidades en lugares donde la presencialidad no es posible, y que ello viene testeándose incluso previo a la pandemia. También indica que esto, ha provocado que la cantidad de estudiantes en esta modalidad aumente exponencialmente, por lo que considera importante analizar y estudiar los Grupos de Interés que cohabitan, se relacionan y existen en cada Institución, y el modo en que se les gestiona. (Burgos Figueroa, 2022; Espino et al., 2020; Viloria y Reyes, 2019)

Para implementar un modelo híbrido es necesario analizar estructuras actuales para el apoyo técnico y tecnológico, de diseño y soporte. Según el estudio realizado el 2020 por el BID, los investigadores señalan que muy pocos países contaban con conectividad o con herramientas digitales para apoyar el proceso de enseñanza en el contexto escolar en el período de pandemia. De acuerdo con la preparación de los sistemas educativos para la transformación digital y para transitar a un modelo de educación híbrido, clasifican a los países en 4 grandes grupos (Alto, Medio Alto, Medio Bajo y Bajo), posicionando a Uruguay en Alto y a Argentina, junto con Barbados, Chile, Colombia, Brasil y Perú en Medio Alto. Menciona que el diseño de la estrategia tecnológica para la implementación del modelo híbrido debería ser definido por el ente público responsable de la provisión de los servicios educativos y en coordinación con las comunidades educativas. Identifican 4 pilares para el desarrollo de una educación híbrida: 1) Nuevas pedagogías, competencias y perfil docente, 2) Equipamiento y conectividad, 3) Plataformas y contenidos 4) Datos y seguimiento de estudiantes. Concluyen que, La innovación educativa requiere de una gobernanza que lidere el cambio y de un marco normativo que estructure la transformación digital de la educación y que garantice la ética y privacidad de datos y los arreglos de ciberseguridad (BID, 2020)

En el caso de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN), se trabaja de manera institucional, corporativa y federal desde una unidad de soporte. El modelo como el Sistema Institucional de Educación a Distancia (SIED), creados por la Ordenanza 1627/18 para la UTN y reglamentados bajo la Ord. 1637/18, propone el desarrollo de ofertas formativas implementando la opción pedagógica a distancia, parcial o totalmente. (UTN - Res. CS, 2018) y permiten el desarrollo de propuestas académicas a distancia en la enseñanza de carreras de pregrado, grado o posgrado con resultados comprobados.

En el proceso de desarrollo de propuestas formativas que implementan la opción pedagógica a distancia, parcial o totalmente, el SIED de la UTN propone trabajar sistémicamente en cuatro áreas claves: contenidos y clases, docencia y tutoría, esfera tecnológica (plataforma y servidores) y de gestión y administración.

Actualmente, desde SIED se han implementado carreras cortas, licenciaturas y carreras de posgrado en el formato consorcio, como un conjunto de Facultades Regionales que se asocian para la elaboración e implementación de una carrera en modalidad EAD o que contengan entre un 30% y 50% del total de horas no presenciales.

En este contexto, regionales de UTN han avanzado con diseños y aplicaciones de propuestas híbridas. Un caso es el de la Facultad Regional Buenos Aires (UTN-FRBA, 2021), la cual lidera el segmento de carrera de grado, mediante un Proyecto Educativo Mixto o híbrido, para sus nueve (9) carreras de grado (Ingenierías) que articula las modalidades educación presencial y virtual, con el objetivo de incorporar estrategias de enseñanza y aprendizaje mediadas por tecnologías en el cursado; el cual no podrá superar el treinta por ciento (30%) de la carga horaria total del plan de estudios de la carrera.

El proyecto educativo híbrido es una propuesta educativa basada en un enfoque de “inclusión digital”, a fin de acompañar la formación en competencias sociales, tecnológicas y profesionales, con la incorporación de conocimientos, tecnologías y herramientas que contribuyan al trabajo profesional e interprofesional en las Ingenierías.

3. DESARROLLO

El e-blended impacta cada vez más sobre las tendencias puras (virtual o presencial), consolidando espacios que favorecen la accesibilidad, la masividad, el desarrollo de nuevas competencias, así como las necesidades de infraestructura tecnológica y de aspectos normativos como culturales en el seno de las universidades y facultades. El diagnóstico sobre estas necesidades y su contrastación permanente

con grupos de interés, constituyen aspectos indispensables para diseñar e implementar un modelo híbrido innovador, flexible y tecnológico con marco institucional. A continuación, se describe el análisis de contexto y grupos de interés realizado a usuarios estudiantes (3.1), docentes (3.2) y referentes de gestión de la carrera, directores y coordinadores (3.3) a través de cuestionarios semiestructurados y principales resultados de percepciones y oportunidades para el modelo e-blended.

3.1 Parte Interesada: Estudiantes

Se realizó una encuesta a estudiantes para detectar necesidades y oportunidades de usuarios e-blended. La muestra fue de 199 estudiantes pertenecientes a UTN-FRC (88%) y el resto de la UTN-FRSN. (Carrizo et al., 2022) Sobre la experiencia con la modalidad virtual, se la calificó como una experiencia suficiente con un promedio 3,68 sobre 5 puntos. Unos 185 estudiantes (93%) opinó que Ingeniería Industrial puede cursarse de forma hibrida. En cuanto a la propuesta curricular vinculada, obtuvieron más del 50% de los votos para el cursado híbrido de las materias: Informática I / Pensamiento Sistémico, (del 1er. Nivel); Administración General / Economía General / Informática II (del 2do. Nivel); Comercialización / Costos y presupuestos / Economía de la Empresa (del 3er. Nivel), y Diseño del Producto / Seguridad e Hiegiene (del 4to. Nivel). Además, el 92% consideró que la carrera se puede cursar virtualmente y los encuestados que no lo consideraron, lo atribuyen a falta de recursos tecnológicos (32%) y falta de conectividad (24%). A futuro, el 55% de los estudiantes proyecta a la universidad como híbrida.

3.2 Parte interesada: Docentes

Se realizó una encuesta a docentes para relevar distintas necesidades y oportunidades de diseño e-blended, desde la apreciación de docentes de asignaturas de la carrera ingeniería industrial de UTN-FRC (87%) y la UTN-FRSN (13%). (Carrizo et al, 2023) Los principales resultados indicaron que el formato híbrido con un 30% en actividades para público presencial-virtual resulta una opción a implementar en el mediano plazo, siendo necesario definir la estructura y equipamiento, así como asegurar las condiciones de conectividad para su desarrollo. Para desarrollar una clase híbrida, los docentes consideraron diversos factores, principalmente la necesidad de disponer de recursos técnicos (56%), diseño (o rediseño) de actividades para público presencial y virtual (33%), disponer de buena conectividad Wi-Fi para interactuar, como también para poder utilizar herramientas web en aula. Además, citaron como relevante la necesidad de disponibilidad de recursos como, por ejemplo, aulas físicas. Solo un 1% indicó no compartir la enseñanza híbrida.
Dentro de los factores que consideraron que pueden mejorar la experiencia en el dictado de clases, el 49% opinó que la disponibilidad de proyectores, notebooks, etc. haría un gran aporte. El 35% atribuye la necesidad de avances en aspectos de infraestructura. También señalaron otras cuestiones como ser: Wifi con buen funcionamiento, pupitres que permitan uso de notebooks, laboratorios virtuales y remotos, conocer más sobre herramientas pedagógicas, didácticas y de evaluación, aulas preparadas abiertas y de innovación, con espacio físico y estructura diferente a las cotidianas (ejemplo: mesas redondas, con espacios libres, pantallas táctiles y buena iluminación y sonido). Desarrollar alternativas de formación continua y conformar equipos de trabajo multidisciplinarios, resultan cada vez más necesarios para el desarrollo de modelos híbridos en virtud de los contextos dinámicos actuales para la formación de profesionales de ingeniería industrial.

3.3 Parte interesada: Gestión de Carreras

La población seleccionada para el estudio es el conjunto de referentes, coordinadores y/o directores de Ingeniería Industrial de carreras de la República Argentina. La estructura general de la encuesta sobre Gestión de Carrera se presenta en 3 bloques definidos de forma siguiente:

1- Información general: se incluye presentación y estratificación, información general sobre quien responde la encuesta, la Unidad Académica (UA) a la que pertenece, cargo de gestión y si realiza actividades laborales fuera del ámbito académico.

2- Experiencia de gestión remota: este bloque divide el relevamiento en experiencia en “pandemia y pospandemia”. Las preguntas se refieren a consultas acerca de la gestión durante la pandemia, las principales herramientas y las plataformas utilizadas, la reglamentación e institucionalización de acciones, y principales dificultades y oportunidades encontradas.

3- Diseño *e-blended* Ing. Industrial: se consulta acerca de las viabilidad, sugerencias, apreciaciones y proyecciones para la propuesta *e-blended* del diseño curricular en ingeniería industrial.

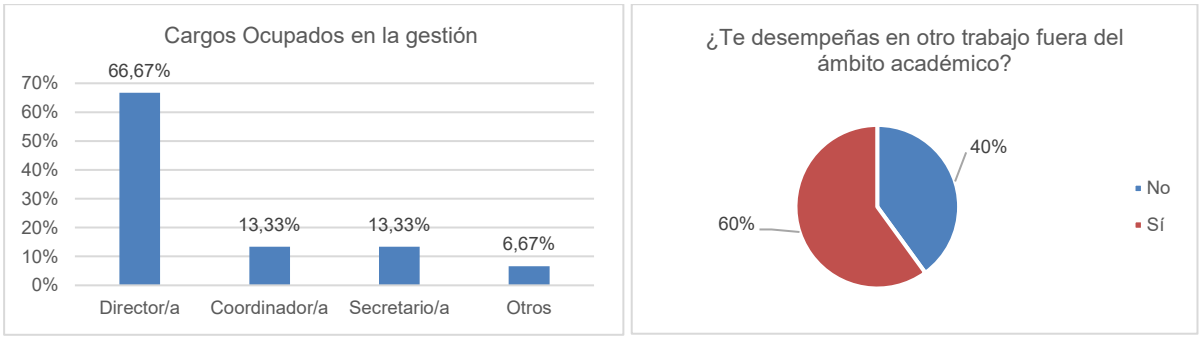
3.3.1 Relevamiento y Resultados

Se alcanzó un nivel de respuesta de casi un 30%. A continuación, se describe la información más relevante.

3.3.1.1. Respecto a la información general de la encuesta, los resultados fueron los siguientes:

- El 66,67% de respuestas corresponde al cargo de Dirección de Carrera, seguidos por cargos de coordinación/secretaría (13,33%) y otros cargos (6,67%), según se muestra en la figura 1.a.

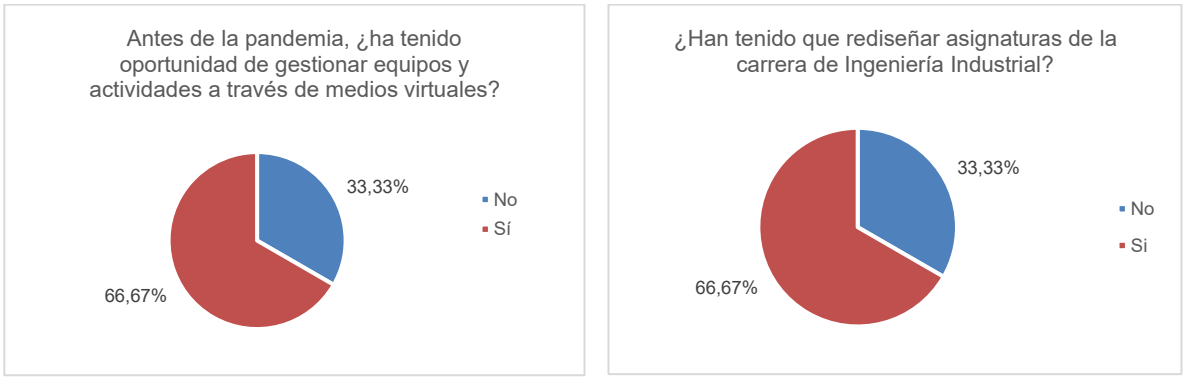
- A su vez, el 60% de los encuestados, ocupan otro cargo fuera del ámbito académico, y el 40% restante se desempeña sólo en el ámbito de Academia, según se presenta en la figura 1.b.



Figuras 1.a) Cargos de los encuestados. 1.b) Ámbito de desempeño. Fuente: elaboración propia.

3.3.1.2 Respecto a la experiencia de gestión remota, se obtuvieron los siguientes resultados:

- El 66,67% ha tenido oportunidad de gestionar equipos y actividades a través de medios virtuales previo a la pandemia (Figura 2.a);
- El 100% recomendó el uso de herramientas institucionales;
- El 66,67% manifestó haber rediseñado asignaturas de la carrera. (Figura 2.b) Entre ellas algunas de las mencionadas: Termodinámica y Máquinas Térmicas, Probabilidad y Estadística, Estudio del Trabajo, Química y Proyecto Final. En menor medida, Investigación Operativa, Electrotecnia y Máquinas Eléctricas, Seguridad, Higiene e Ingeniería Ambiental, Diseño de Producto, Planificación y Control de la Producción.



Figuras 2.a) Gestión de equipos previo a la pandemia. 2.b) Rediseño de asignaturas. Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, de tener que realizar el rediseño de la propuesta académica, los principales recursos requeridos son Tecnológicos (38%), Económicos (28%) y de conectividad (21%), según se muestra en la figura 3.

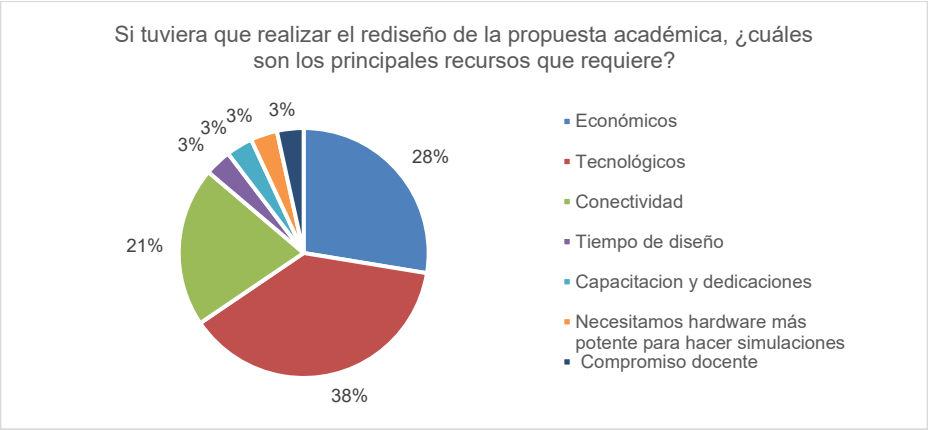


Figura 3: Recursos requeridos para el diseño e-blended. Fuente: elaboración propia.

Es importante destacar que el 48% de los encuestados dispone de experiencia previa (24% capacitaciones) y 24% Congresos y jornadas de la especialidad. (Figura 4)

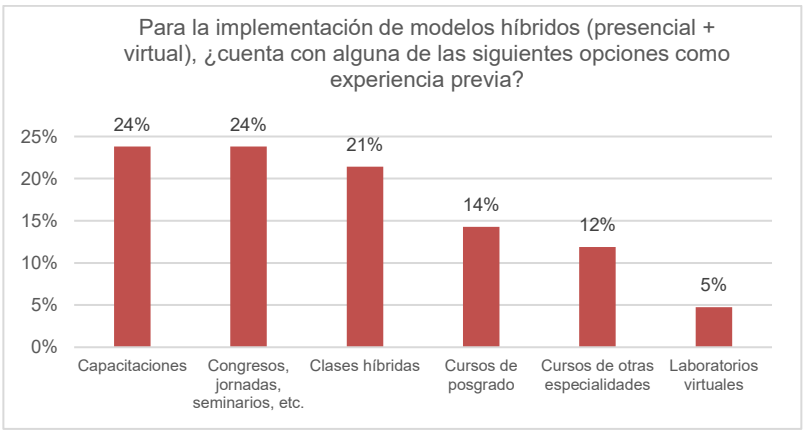


Figura 4: Experiencia anterior para el diseño e-blended. Fuente: elaboración propia.

El 60% de los encuestados recomendaria implementar hibridación en la carrera, y el 40% no lo haría. (Figura 5)

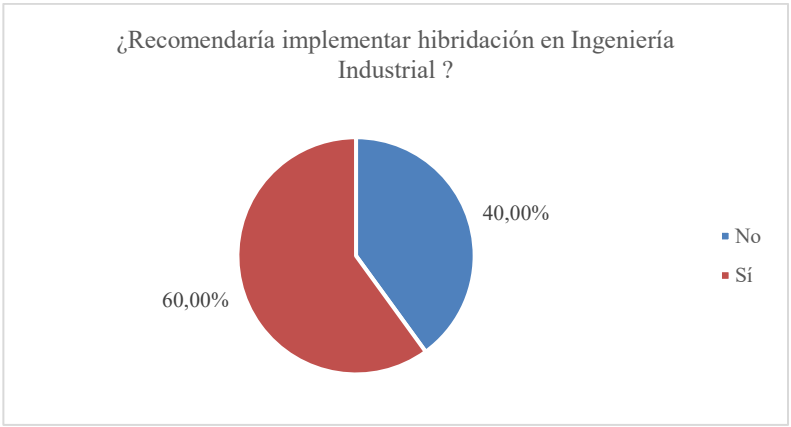


Figura 5: Experiencia anterior para el diseño e-blended. Fuente: elaboración propia.

Las principales razones dadas para optar por la hibridez son:

- Las experiencias positivas dictando y/o cursando materias junto con otras Facultades Regionales en el caso de UTN;
- La necesidad de estar cerca de los avances tecnológicos, y alinearse al contexto ambiental, social y organizacional (en cualquier organización se realizan reuniones híbridas);
- La flexibilidad de horarios que permite;
- Dependiendo del tipo de materia y su diseño, existen asignaturas que podrían dictarse de manera híbrida, por ejemplo, materias del bloque Ciencias y Tecnologías Complementarias tales como: Ingeniería y Sociedad, Legislación, Inglés, etc.
- Las modalidades semipresenciales abren nuevos horizontes, nuevas tecnologías, laboratorios virtuales y accesos a conocimientos que presencialmente no estaban contemplados.
- Permiten minimizar y optimizar gastos, aunque es necesario avanzar de manera conjunta con áreas soporte, planificar evolución integrada, dando contención y seguimiento a estudiantes y docentes.

En cuanto a respuesta de no recomendar la hibridación y aspectos a mejorar, las respuestas se centran en:

- Dificultades para encontrar constancia en el alumnado y cumplimiento de los objetivos planteados en los cursos. Algunas respuestas remarcan en la aplicación luego de 2do año, para interactuar presencialmente durante el primer año universitario, enfatizando en la capacidad en lectura y compensión de textos.
- Falta de infraestructura tecnológica: no todas las universidades cuentan con las plataformas tecnológicas y los recursos adecuados. Además, aspectos técnicos, como la limitación del movimiento de cámara y sonido (lo que requiere persona asistiendo y equipos adecuados), cuestión que si se puede resolver, puede ser aplicada en circunstancias excepcionales.
- En cuanto al diseño de la clase, el ecosistema, puede haber desigualdad de participación presencial-virtual, en desbalance entre estudiantes que asisten presencialmente y aquellos que lo hacen de forma virtual, (desde un planteo de un cambio total en la forma de enseñar).
- Cuestiones de la estructura del diseño curricular, las carreras fueron acreditadas como presenciales, (solo pueden contar con un porcentaje definido de virtualidad).

Respecto a oportunidades que se vislumbra desde la gestión en el escenario educativo hoy, los principales aportes, se clasificaron en Consensos y Propuestas, según se describen en la Tabla 1.

Tabla 1 Oportunidades y Propuestas. Fuente: elaboración propia.

Consensos	Propuestas
Abundancia y diversidad de herramientas pedagogicas	Uso del aula física solo para instancias prácticas.
Aulas híbridas como alternativa (actual y pontencial), actualizando los sistemas educativos.	Utilizar laboratorios remotos.
Oportunidad de optimizar planes de estudio.	Internacionalizar la educación. Proponer entornos simulados.
Desafío: alcanzar la dinámica de cambio de las generaciones estudiantiles (sistema educativo y educadores)	Uso de la IA, con espacios colaborativos para docentes y estudiantes, sin fronteras.
Nuevos softwares para el abordaje de diferentes problemáticas y el uso de Inteligencia Artificial (IA) en aplicaciones industriales.	Tanto estudiantes como docentes están más adaptados al uso de herramientas tecnológicas.
Flexibilidad y adaptación a escenarios no planificados	Estrategias ya instaladas (clases grabadas, videos, campus ya armados, autoevaluaciones y mucho material de gran utilidad.

En cuanto a la visión de futuro, el 66,67% de los encuestados percibe la carrera como semipresencial (70% presencial y 30% virtual), según se muestra en la figura 6.

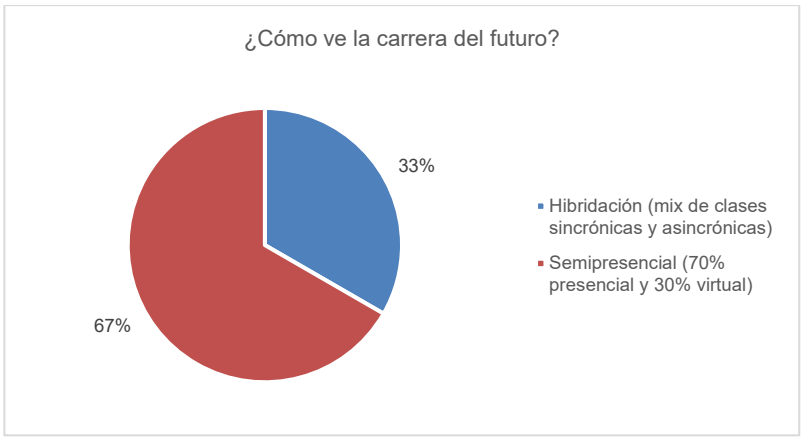


Figura 6: Visión de futuro. Fuente: elaboración propia.

El GI gestión de la carrera, la percibe en primer orden como semipresencial (66,67%) y en segundo orden como híbrida (33,33%); según la figura 7, presentada a continuación.

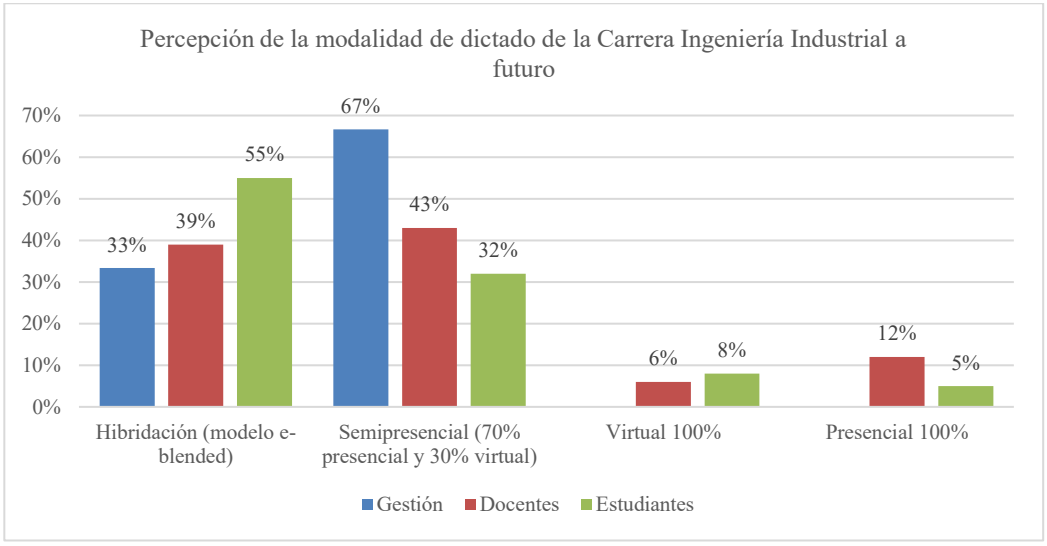


Figura 7: Percepción de la modalidad de dictado a futuro por parte de las distintas partes interesadas intervinientes (Gestión, Docentes, Estudiantes) Fuente: elaboración propia.

La Tabla 2 resume lo indicado en la figura 7, y se puede estimar que los alumnos prefieren una modalidad hibrida / virtual (63%), los docentes en un formato “híbrido / semipresencial” (40% en cada preferencia) y un 12% presencial. La gestión de la dirección de la carrera prefiere un semipresencial (67%) sin optar por un formato 100 % virtual o presencial.

Tabla 2 Resumen de la Percepción de la modalidad de dictado de los grupos de interés (Gestión, Docentes, Estudiantes). Fuente: elaboración propia.

Grupo de Interés (GI)	Hibrida (%)	Semipresencial (%)	Virtual 100% (%)	Presencial 100% (%)
Estudiante	55	32	8	5
Docente	39	43	6	12
Gestión de la Carrera	33	67	0	0

Finalmente, se consultó acerca la gestión de la ingeniería Industrial del futuro cercano, si bien uno de los encuestados indicó a corto plazo sin cambios, otras respuestas señalaron que deberá ser una carrera colaborativa, con una gestión muy influenciada por la adopción de tecnologías avanzas, enfoques más ágiles, más globalización y sustentabilidad. También indicaron que la visualizan gestionando sistemas

de información, y amalgamada con programación/sistemas (visión sistémica de ingeniería Industrial y la capacidad de gestión integrado con un sistema informático que facilite indicadores y la toma de decisiones.

Además, señalaron la brecha futura entre la gestión de las universidades y como se trabajará en las organizaciones. Los encuestados hicieron referencia a la necesidad de articular y vincular con el entorno, es decir orientando la gestión hacia las necesidades de mercado que se encuentra el graduado en el trabajo profesional, actualizando de manera constante los requerimientos, tanto en el perfil de empleado como de profesional autónomo. Lo que no implica modificar los contenidos mínimos del diseño curricular sino la metodologías implementadas y herramientas utilizadas. Ello facilitaría el desarrollo de la formación práctica dada por la Prácticas Profesional Supervisada (PPS) así como la actividad de pasantías, clave para la formación de egresados.

En cuanto al modelo de enseñanza y estrategias, los perciben como “centrado en los estudiantes” y proyectan la hibridación parcial. Sin embargo, mencionan que el cambio no es inmediato, sino que se deben generarse acciones para su consolidación, acompañadas del soporte tecnológico necesario (Por ejemplo, el paso dado de adoptar clases virtuales sincrónicas como presenciales, y su disponibilidad en repositorio o similar para verse modificarse, evaluarse y mejorarse).

4. CONCLUSIONES.

En este trabajo se relevó el contexto y grupos de interés de los modelos e-blended, con el objetivo de indagar principales necesidades y apreciaciones entre usuarios estudiantes, docentes y referentes de gestión de la carrera (directores y coordinadores).

Los resultados relevados como se indica en el punto anterior, y que se presentan en la Tabla 2, indicarían los siguiente:

- los estudiantes prefieren una modalidad hibrida / virtual (63%) y un 32% semipresencial;

- los docentes en un formato “hibrido / semipresencial” (39% y 43% en cada preferencia) y un 12% presencial;

- y la gestión de la dirección de la carrera prefiere un semipresencial (67%) y un 33% modo híbrido.

Con respecto a un formato 100 % virtual o presencial, los estudiantes están casi equiparados en su elección (8% y 5% respectivamente), y en los docentes 6% virtual y 12% semipresencial. Para el caso de la Gestión de carrera este formato no es una opción.

En resumen, el formato híbrido con un piso del 30% resulta ser una opción de las actividades para público presencial-virtual a implementarse en el mediano plazo, siendo necesario definir la estructura y equipamiento, así como asegurar las condiciones de conectividad para su desarrollo.

Docentes, estudiantes y la Dirección de Carrera, coinciden que el proceso de transición que implica y perciben en su mayoría, a la carrera como:
- semipresencial (dirección de carreras, 67%; docentes 43%, y 32% estudiantes)
- o híbrida (estudiantes, 55%; dirección de carreras, 3; y docentes 39%

En una visión a futuro de la enseñanza de la carrera, las direcciones responden que:

- el 67% percibe la carrera en un formato hibrido en un mix de clases sincronigas y asincronicas;

- el 33% como semipresencial con un formato de 70% de clases presenciales y 30% en formatos virtual.

La direcciones de carreras encuestadas recomendarian implementar hibridación en la cursada pero señalan retos y desafíos, como ser, necesidad de factores económicos para obtener la tecnología, soporte técnico y tecnológico permanente, y asegurar la conectividad, así como la preparación y oportunidades de capacitación y desarrollo para cada uno de los usuarios del modelo. Pensando a un nuevo diseño de la clase, para evitar la desigualdad de participación presencial-virtual de los estudiantes que asisten presencialmente de aquellos que lo hacen de forma virtual, lo que lleva a pensar un cambio totalmente la forma de enseñanza actualmente como también la necesidad de adaptarse con estos

modelos a las necesidades del mercado, buscando articulación y vinculación, con el entorno, favoreciendo actividades de investigación y extensión y el marco de acción de ODS.

Es importante que los distintos GI, gestión, docencia y estudiantes, trabajen colaborativamente para potenciar el uso de aulas híbridas y el modelo e-blended, para afrontar los nuevos escenarios de la Educación Superior demandan adaptaciones, transformaciones e innovaciones desde el enfoque pedagógico, comunicacional y tecnológico.

El éxito para la implementación de este proyecto educativo se basa en tres pilares fundamentales: la factibilidad técnica, económica y operativa, que son de aplicación sistemática. El primero está referido a la necesidad de contar una plataforma tecnológica educativa que de soporte adecuado y de calidad a las actividades de enseñanza y aprendizaje fundamentada en un modelo pedagógico que acompañe el diseño e implementación a nivel de carreras y espacios curriculares. La segunda referida a la relación costo-beneficio donde la facultad debe facilitar el acceso a TI y el estudiante la conectividad en algún tipo de dispositivo electrónico (desde celular a una computadora), y la tercera requiere acompañar a las cátedras que se vayan sumando al proyecto a través de asesoramiento y de un plan de capacitaciones.

El proyecto educativo híbrido es una propuesta educativa basada en un enfoque de “inclusión digital”, a fin de acompañar la formación en competencias sociales, tecnológicas y profesionales, con la incorporación de conocimientos, tecnologías y herramientas que contribuyan al trabajo profesional e interprofesional en las Ingenierías.

5. REFERENCIAS.

Ceferino Orjuela, N. X. & Mayorga Valbuena, D. M. (2019). Modelo de Integración de Competencias Digitales y Competencias STEAM en Profesionales del Sector TI en la Localidad de Puente Aranda en Bogotá. Recuperado de: http://hdl.handle.net/11349/25069.

Cruder, G., Cigala, R., & Bergomas, G. (2021). Plataformas y lenguajes: reflexiones en pandemia pensando el futuro. Virtualidad, Educación y Ciencia, 24 (12), pp. 25-35.

Cerrano, M.L, Gallegos, M.L, Feraboli, L., Gallegos, H., Rissetto, M., 2021. Experiencias, reflexiones y oportunidades sobre educación no presencial en Ingeniería Industrial. Revista Argentina de Ingeniería RADI. Año 9 - Volumen 17.

Carrizo Blanca, Abet Jorge, Gallegos María Laura, Cinalli, Marcelo, “Una propuesta híbrida basada en el desarrollo de competencias digitales” XVII Congreso Iberoamericano de Computación para el Desarrollo (COMPDES 2024), 17 al 19 de julio de 2024, Liberia (Costa Rica).

UTN-FRC, P. (2022-2024). Propuesta académica e-blended para la carrera ingeniería industrial desde el análisis de su diseño curricular centrado en competencias. Directora: Blanca Carrizo. Córdoba

Carrizo Blanca; Abet Jorge; Gallegos Laura; Cinalli, Marcelo, Rissetto, Miguel, “Diseñar una propuesta académica e-blended para la carrera ingeniería industrial desde el análisis de su diseño curricular centrado en competencias” (2022) XV COINI 2022, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina. Publicado en libro de memorias COINI 2022.

Carrizo, B., Abet, J., Gallegos, M. L., Cinalli, M., & Rissetto, M. (2023). Propuesta curricular e-blended: análisis desde la perspectiva docente. San Nicolás, Buenos Aires, Argentina: Publicado en el libro de Memorias del XVI COINI 2023. 978-950-42-0235-6

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). Capítulo 8. Selección de la muestra. Metodología de la Investigación, 244-245.

Rama, Claudio (2021) La nueva educación híbrida En Cuadernos de Universidades. – No. 11 (2020). Ciudad de México: Unión de Universidades de América Latina y el Caribe, 2020. ISBN de la colección: 978-607-8066-35-3 139 pp. Ficha catalográfica del título de la serie: Cuadernos Universidades. México: UDUAL, 2021.

Galvis, Á., López, Y., & Aarón, M. (2018). Aprendiendo de una transformación de prácticas pedagógicas en cursos de maestría en la modalidad híbrida de aprendizaje. RED. Revista de Educación a Distancia. Núm. 58(2) 31-10-2018.

Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Arias Ortiz, Elena; Pérez Alfaro, Marcelo; Vásquez, Madiery; Brechner, Miguel (2020) Hablemos de política educativa en América Latina y el Caribe #2: De la educación a distancia a la híbrida: 4 elementos clave para hacerla realidad. DOIhttp://dx.doi.org/10.18235/0002756

Ángelo Burgos Figueroa, Francisco Ganga-Contreras y Michel Valdés-Montecinos (2022) Grupos De Interés En La Educación Superior A Distancia. Disponible en: https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2022/12/02_6938_A_Ganga_v47n12_7.pdf

UTN - Res. CS. (Junio de 2018). Lineamientos del Sistema Institucional de Educación a Distancia de la Universidad Tecnológica Nacional. Capital Federal, Buenos Aires, Argentina. Extraido de: https://www.frba.utn.edu.ar/la-facultad-aprobo-el-proyecto-educativo-mixto-en-la-formacion-en-ingenieria/

UTN – FRBA (Publicada el 27 de agosto de 2021, La Facultad aprobó el Proyecto Educativo Mixto en la formación en Ingeniería. Disponible en Sitio web: https://www.frba.utn.edu.ar/la-facultad-aprobo-el-proyecto-educativo-mixto-en-la-formacion-en-ingenieria/ Recuperado: 01/10/24.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer al equipo de trabajo de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Facultad Regional Córdoba.

"UN HACKATHON PARA LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN LA INGENIERÍA. ESTUDIO DE CASO"

Flores, Leandro Javier; García, Alejandra Ivana; Derisio, Eduardo Bruno

Universidad Nacional de Luján
leandroflores6600@gmail.com

RESUMEN

El enfoque centrado en el estudiante es una estrategia adoptada por la asignatura Planeamiento y Control de Recursos de la carrera Ingeniería Industrial en la Universidad Nacional de Luján, con el propósito de contribuir a las incumbencias de la carrera y a las competencias de egreso definidas por CONFEDI. Se utilizó como herramienta un “hackathon”, término que proviene de la combinación de "hack" y "maratón", definido como un evento intensivo y colaborativo en el cual las personas trabajan en equipos para resolver problemas específicos en un tiempo limitado. Muy popular en el ámbito de la programación y el desarrollo de software, estos eventos han sido adaptados a diversos contextos, siendo el académico el que compete a este trabajo. Ya en su segundo año de aplicación en la asignatura, el tema disparador fue el litio en Argentina y su abordaje sostenible. Las actividades se realizaron en el aula, guiadas por los docentes y controladas mediante informes de avances, junto a una página web como soporte. Las etapas de la actividad incluyeron la identificación de objetivos, la caracterización de la posición competitiva, el planeamiento y asignación de recursos, la elaboración de presupuestos, la selección de elementos de control e indicadores de gestión, y una exposición oral de cierre. Se logró una exitosa vinculación entre los contenidos teóricos y las actividades prácticas, contribuyendo efectivamente a las incumbencias y competencias definidas para el ingeniero industrial.

Palabras Claves: hackathon, sostenibilidad, competencias

ABSTRACT

The student-centered approach is a strategy adopted by the "Planeamiento y Control de Recursos" course in the Industrial Engineering program at the National University of Luján, aimed at contributing to the competencies and learning outcomes defined by CONFEDI. A "hackathon" —a term derived from the combination of "hack" and "marathon"— was utilized as a tool. A hackathon is an intensive and collaborative event where participants work in teams to solve specific problems within a limited timeframe. Originally popular in programming and software development, these events have been adapted to various contexts, including academic settings. In its second year of application in the course, the theme addressed was "Lithium in Argentina and its Sustainable Management." Activities were conducted in the classroom, guided by instructors and monitored through progress reports, supported by a dedicated website. The stages of the activity included identifying objectives, characterizing competitive positioning, planning and resource allocation, budget preparation, selection of control elements and management indicators, and a final oral presentation. This approach effectively linked theoretical content with practical activities, contributing significantly to the competencies and learning outcomes defined for industrial engineers.

Keywords: hackathon, sustainability, competencies

1. INTRODUCCIÓN

En la sociedad actual se exige que los profesionales no solo sean expertos en áreas técnicas como modelado, cálculo o diseño, sino que también estén capacitados en competencias sociales, políticas y actitudinales. Para cumplir con estas demandas, un enfoque basado en la formación por competencias resulta ser una estrategia efectiva. En este contexto, y considerando las nuevas demandas sociales junto con la necesidad de actualizar las metodologías de enseñanza, el modelo de aprendizaje centrado en el estudiante emerge como la clave para integrar un enfoque basado en competencias. Este modelo asegura una formación integral que prepara adecuadamente a los estudiantes para desempeñar actividades específicas en un entorno profesional en constante evolución. (Consejo Federal de Decanos de Ingeniería-CONFEDI, 2018; Kowalski, V. A., Erck, I. M., Enriquez, H. D., 2015)
Esta estrategia, frecuentemente adoptada en la asignatura, entiende a los estudiantes como participantes activos y gestores de su propio aprendizaje en contextos reales con el fin de fomentar su capacidad para tomar decisiones y aplicar sus conocimientos de manera efectiva (Ríos Muñoz, D. y Araya D., 2017). La implementación de un hackathon, titulado “HACKPYCR”, se ha presentado como una herramienta innovadora y eficaz, adaptada a las particularidades del ámbito de la asignatura.

El hackathon por definición es un evento intensivo y cronometrado durante el cual los participantes se abocan a una actividad de equipo enfocada en resolver un problema específico (Szymanska, I.; Sesti, T.; Motley, H. Puja, G., 2020). El término surge de la combinación de las palabras "hack" y "maratón". Inicialmente, estos eventos estaban orientados mayormente a profesionales de la informática y hackers. Su origen se sitúa en Estados Unidos, particularmente en Silicon Valley y responde a la necesidad de las empresas de acelerar la innovación, descubrir nuevas ideas y atraer talento (Almaraz Mendez, F.; Martín García T., 2021). En el ámbito académico, el hackathon fomenta una participación comprometida e incorpora siempre un componente práctico (“aprender haciendo”), junto con un fuerte enfoque en el trabajo colaborativo. De este modo, se impulsa el desarrollo de nuevas formas de aprendizaje que preparan a las personas para enfrentar el autoaprendizaje y la formación continua.

Las actividades diseñadas por el equipo docente se orientaron hacia el abordaje de un problema abierto de la ingeniería, en el caso de la cohorte 2023 derivado del estudio de los efectos de la explotación del litio en Argentina, asumiendo deberes profesionales con responsabilidad, principios éticos, y un firme compromiso con el bienestar social, contribuyendo de esta manera a las competencias genéricas. El diseño involucró el uso competente de las técnicas y herramientas aplicables en ingeniería, el trabajo en equipo, la comunicación efectiva entre pares y un aprendizaje continuo y autogestionado. Los aportes del hackathon como herramienta, centrado en la adquisición de conocimientos se reflejan en el saber, ser y conocer de los estudiantes.

2. DESARROLLO

2.1. Diseño del hackathon

La asignatura "Planeamiento y Control de Recursos", que se imparte en el octavo cuatrimestre de la carrera de Ingeniería Industrial en la Universidad Nacional de Luján, desarrolla un programa que organiza los contenidos mínimos en cinco unidades. A continuación, se presenta una tabla que permite relacionar las unidades temáticas con los ejes centrales de los contenidos

Tabla 1 Unidades de Planeamiento y Control de Recursos.

Administración Estratégica	Unidad 1
Estrategia	Unidad 2
Planeamiento	Unidad 3
Control de Gestión	Unidad 4
Medición e Informes de la Gestión	Unidad 5

En su estructura, la asignatura propone dos trabajos prácticos por equipos, donde uno abarca con mayor intensidad el concepto de estrategia y el otro vincula y acompaña de manera integral, todo el desarrollo teórico (Universidad Nacional de Luján - UNLu, 2022) (Argentina, CONEAU, 2021).

En el presente trabajo se describe un estudio de caso aplicado a una actividad práctica titulada "HACKPYCR", organizada bajo la modalidad de hackathon. Este año, en su segunda aplicación, el tema propuesto fue el impacto de la explotación de litio en Argentina y las posibles acciones que podrían colaborar con un desarrollo sostenible en la región.

La extracción de litio en Argentina comenzó en los años 80, pero en las últimas dos décadas el país se consolidó como uno de los principales productores globales, ubicándose en el cuarto lugar mundial. En 2022, las exportaciones de litio representaron un 18% de las exportaciones mineras del país, con Jujuy como la provincia de mayor producción. Las exportaciones de litio están mayormente destinadas a China, Japón y Estados Unidos (CREEBBA, 2023). A principios de 2023, la industria del litio en Argentina generó aproximadamente 4.000 empleos, lo que representa un incremento del 59% en comparación con el año anterior. En el corto plazo, se prevé que cinco nuevos proyectos de litio en Jujuy, Salta y Catamarca comiencen a producir, y se están desarrollando otros 30 proyectos a mediano y largo plazo. Según las tendencias actuales, para 2025 las exportaciones mineras argentinas podrían superar los 8.500 millones de dólares, duplicando su valor actual, y posicionando a Argentina como un actor clave en la transición energética global. (Argentina. Ministerio de Economía, 2023). En este contexto, se planteó el hackathon procurando que cada equipo estudie desde el enfoque de la asignatura problemas y potenciales alternativas de solución para el desarrollo sostenible de la región.

El trabajo práctico se dividió en siete etapas a lo largo del cuatrimestre, diseñando las actividades para que se ajuste a los criterios de formación práctica de la carrera (Argentina, CONEAU 2021). En la siguiente tabla se detallan las etapas que conformaron el desarrollo del trabajo práctico:

Tabla 2 Etapas del trabajo práctico.

Etapa 1	Conformación de los equipos y elección del nombre
Etapa 2	Definición del problema a resolver
Etapa 3	Caracterización de la posición competitiva
Etapa 4	Planeamiento e identificación de recursos
Etapa 5	Elaboración de presupuestos
Etapa 6	Definición de elementos de control e indicadores de gestión
Etapa 7	Exposición de resultados y cierre

Durante la actividad, se procuró mantener una estrecha vinculación con las incumbencias de la carrera, el perfil de egreso de la UNLu y las competencias genéricas y específicas de egreso definidas por el Libro Rojo de CONFEDI (Consejo Federal de Decanos de Ingeniería-CONFEDI, 2018). Además, se buscó integrar conocimientos de la asignatura que abarcó desde el planeamiento hasta la gestión eficaz de recursos para la consecución de los objetivos propuestos. Más adelante en el presente trabajo, se profundizará sobre cómo se relaciona todo aquello que se espera contribuir en la formación del ingeniero industrial y las etapas de la propuesta práctica.

Agrupados en equipos, la actividad se centró en el trabajo autónomo de los estudiantes tanto en el espacio áulico como fuera de él, donde el rol del equipo docente fue el de facilitador en el desarrollo de las actividades.

Como soporte adicional, se diseñó una página web con la herramienta que ofrece Google. El objetivo fue proporcionar una plataforma moderna y ágil, para fortalecer la participación e interacción, acorde al perfil de los estudiantes de la asignatura. El espacio virtual se construyó con secciones para la presentación de los docentes, vías de comunicación, modalidad de trabajo, objetivos de la asignatura, y recomendaciones y sugerencias a tener en cuenta para el curso. Dentro de la página, también las unidades del programa y los trabajos prácticos tuvieron sus secciones correspondientes.

Se contempló un informe de avance de medio término y una exposición de cierre en la etapa final. El propósito del primero fue principalmente detectar y corregir errores de enfoque en la definición del problema que impactaran desfavorablemente en la construcción de las soluciones, y respecto al segundo, la finalidad fue comprobar la aplicación de los conceptos teóricos en la actividad práctica de manera integral y por medio de una presentación oral por equipos.

La condición para la aprobación del trabajo práctico fue la presentación de una solución a un problema detectado, la entrega de un informe de avance y una exposición de los resultados obtenidos**.**

El equipo docente definió un conjunto de indicadores para medir el éxito de la estrategia adoptada, buscando tanto oportunidades de mejora, como la identificación de posibles desvíos respecto a lo esperado para el curso. En la siguiente tabla se presentan los indicadores y los objetivos definidos para el seguimiento de la actividad.

Tabla 3 Objetivos e indicadores de avance.

Objetivos	Indicadores
Asegurar el cumplimiento de las actividades establecidas del trabajo práctico	Unidades del programa abordadas / Unidades totales
	Etapas del hackathon concluidas / Etapas totales
	Encuentros concretados / Encuentros planificados
Impulsar el desarrollo y la finalización efectiva de las tareas del trabajo práctico	Informes presentados / Informes planificados
	Exposiciones presentadas / Exposiciones planificadas
	Cantidad de estudiantes en las exposiciones / Total de estudiantes iniciales
Contribución a la formación por competencias	Aporte a las competencias de egreso identificado/ Competencias de egreso según CONFEDI

2.2. Características del hackathon

2.2.1 Etapa de conformación de los equipos y elección del nombre.

Esta etapa fue una fase de preparación para las actividades del hackathon. Desde la concepción, HACKPYCR se planeó como ejercicio colaborativo entre pares, donde la comunicación fluida, clara y productiva fuese indispensable para el logro de los objetivos de la actividad. De esta manera, se contribuye a las competencias sociales, políticas y actitudinales como desempeñarse de manera efectiva en equipos de trabajo y comunicarse con efectividad.

En su primera versión para la cohorte 2022, la consolidación de los equipos se apoyó en los resultados de una evaluación preliminar diseñada por el equipo docente para analizar el perfil de los integrantes. Aunque los resultados fueron satisfactorios, se percibieron sensibles demoras para el comienzo de las actividades debido a la falta de conocimiento entre pares.

Es a raíz de lo mencionado que para la cohorte 2023, se decidió que los estudiantes autogestionen la conformación de los equipos, con el objetivo de lograr mejores rendimientos grupales en la actividad. Los nombres de los equipos, como parte de la consigna, debían hacer alusión a conceptos que se abordan en el curso, buscando alinear este momento de creación libre con el propósito de las actividades prácticas. Las decisiones anteriormente mencionadas, junto a lo descripto en el inciso anterior sobre la modalidad de trabajo, contribuyen significativamente en la competencia genérica de egreso como es la de aprender en forma continua y autónoma.

2.2.2 Etapa de definición del problema a resolver

La etapa contribuyó a las competencias tecnológicas, como identificar, formular y resolver problemas de ingeniería; utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de aplicación en la ingeniería; y contribuir a la generación de desarrollos tecnológicos y/o innovaciones tecnológicas.

El equipo docente propuso como tema disparador la inserción de la industria del litio en Argentina y aquellas acciones potenciales que aseguren un desarrollo sostenible a largo plazo en la región argentina perteneciente al triángulo del litio. Los estudiantes tenían la opción de seleccionar las áreas en las que trabajarían y proponer soluciones, abarcando aspectos como la regulación ambiental, el

desarrollo de capacidades locales, la participación comunitaria, así como el monitoreo y la evaluación, y la inversión en tecnología limpia, entre otros.

En esta fase también se contribuyó con las competencias sociales, políticas y actitudinales, puntualmente en actuar con ética, responsabilidad profesional y compromiso social. Se consideró el impacto económico, social y ambiental de su actividad en el contexto local y global, ya que las soluciones debían responder a un actuar responsable y empático con el entorno.

2.2.3 Etapa de caracterización de la posición competitiva

El objetivo de esta etapa consistió en realizar un diagnóstico de la situación inicial para el problema que cada equipo se proponía abordar. Los estudiantes debían identificar las ventajas y desventajas que ofrece el entorno, utilizando tanto herramientas previamente conocidas como otras introducidas en la asignatura. Además, se requería la identificación de las partes involucradas en la situación analizada y el delineamiento de una estrategia para alcanzar la situación futura deseada. En consonancia con lo anterior, los equipos debían definir los objetivos a largo plazo en términos cuantitativos.

Esta fase se vinculó principalmente con la unidad 1 y 2 del programa, abordando temas como el enfoque global de la organización, su entorno político, económico y social, la cadena de valor agregado, prospectiva, herramientas de diagnóstico, conceptos de estrategia y su impacto en las organizaciones.

Finalizada la actividad, los equipos debían presentar un primer informe de avance para su evaluación con las decisiones tomadas, la solución propuesta al problema identificado, el diagnóstico inicial de la situación y los objetivos a cumplir en el largo plazo. Se evaluaron criterios como calidad y pertinencia del contenido, aspectos relacionados con la escritura, formato de presentación, cumplimiento plazos de entrega, coherencia y cohesión del texto.

2.2.4 Etapa de Planeamiento e identificación de recursos

Esta etapa se encuentra fuertemente vinculada con la Unidad 3 del programa, puntualmente con temas como los principios y el horizonte de planeamiento, los tipos de planes, las razones por las que se justifica planear, y los métodos y técnicas de pronóstico de los recursos físicos, humanos, económico-financieros e intangibles. Definida y conocida la situación futura deseada para cada solución propuesta, y expresada en términos cuantitativos como logro a alcanzar en el largo plazo, los equipos debían delinear una serie de acciones y establecer un conjunto de metas que demostraran cómo lograrían conseguir su propósito final.

Para cada acción, los equipos debían identificar todos los recursos que pondrían en juego, tanto los tangibles como los intangibles, para alcanzar las metas establecidas.

Las competencias específicas de egreso fueron el eje para el diseño del trabajo práctico, y específicamente en esta etapa se contribuyó a aquellas referidas al momento de planear, tal como se enuncia en: diseñar, proyectar y planificar operaciones, procesos e instalaciones para la obtención de bienes industrializados.

2.2.5 Etapa de elaboración de presupuestos

Los estudiantes debían asignar los recursos de manera eficiente, previendo gastos e ingresos, expresando los valores en unidades físicas y monetarias. Los equipos debían simular la fase de ejecución de la solución propuesta con fines prácticos y así poder aplicar los conceptos de las últimas unidades del programa. Es por esto que el presupuesto, como elemento de planificación y control, fue un componente crítico para cada equipo al evaluar posteriormente el desempeño en términos de gestión.

Las actividades de esta etapa se vinculan con la Unidad 4, y se abordaron temas puntuales como el concepto y los objetivos del control de gestión, el proceso presupuestario y las fases para la elaboración del presupuesto. En esta fase también se contribuyó con las competencias específicas de egreso, pero en esta oportunidad, en aquellas referidas a dirigir y/o controlar, tal como lo indica el Libro Rojo del CONFEDI (Consejo Federal de Decanos de Ingeniería-CONFEDI, 2018).

2.2.6 Etapa de definición de elementos de control e indicadores de gestión

Las últimas dos unidades del programa se vinculan con esta etapa de la actividad práctica HACKPYCR, donde los estudiantes debían aplicar conceptos como el diseño de sistemas de control de gestión, el tablero de comando, medidas de eficacia y eficiencia, el cuadro de mando integral y principales indicadores.

Los equipos debían diseñar un cuadro de mando integral y definir los indicadores clave de desempeño para monitorear el camino hacia la concreción de las metas, asegurando una gestión efectiva y eficiente.

De la misma manera que en la etapa anterior, en esta fase se contribuyó con las competencias específicas de egreso enfocadas a la dirección y/o control como marca el CONFEDI para el ingeniero industrial.

2.2.7 Etapa de exposición de resultados y cierre

A modo de cierre, en la última etapa, los equipos debían exponer de manera oral y presencial, todas las decisiones tomadas durante el desarrollo de la actividad, así como las herramientas aplicadas, resultados logrados y las conclusiones finales correspondientes.

Una vez concluida cada presentación se reservó un espacio para preguntas y debate acerca de trabajo presentado. En esta etapa final se evaluaron criterios como relevancia, claridad, precisión y estructura de la información presentada, dominio del tema, lenguaje utilizado, y gestión del tiempo.

2.3. Desarrollo

2.3.1 Etapa de conformación de los equipos y elección del nombre

Los estudiantes se agruparon libremente en seis equipos con ocho integrantes cada uno. A continuación se presenta una tabla que muestra qué nombres relacionados con la asignatura eligieron los estudiantes para sus equipos.

Tabla 4 Nombre de los equipos.

Equipo 1	El club de las 5 fuerzas de Porter
Equipo 2	Plato del chef: Ratatouille (PCR)
Equipo 3	Dominic Pareto
Equipo 4	Gestores del caos
Equipo 5	Los herederos de Porter
Equipo 6	Tegnicos Imperiales

Los equipos 1 y 5 eligieron nombres estrechamente relacionados con el reconocido economista y académico Michael Porter, ya sea directamente por su apellido o por sus contribuciones en el campo de la administración estratégica, como es la teoría de las 5 fuerzas competitivas. Estas decisiones están claramente vinculadas de manera adecuada con las unidades del programa, específicamente con las unidades 1 y 2.

El equipo 2 seleccionó un nombre que coincide con la sigla del nombre de la asignatura (PCR), observándose de esta manera una correcta vinculación.

Por otro lado, el equipo 3 hizo alusión, con su nombre, a Vilfredo Pareto, conocido por el principio de Pareto o la regla del 80/20, herramienta típica de la ingeniería industrial, mostrando también una correcta vinculación con el programa.

El equipo 3 decidió un nombre, acertadamente vinculado con la asignatura, que se relaciona con el concepto de gestión y también refiriéndose a situaciones en entornos inciertos y dinámicos.

Finalmente, el equipo 6 decidió utilizar en su nombre el acrónimo TEG, que proviene del popular juego de mesa y que significa “táctica y estrategia de la guerra”, presentando claramente una vinculación con los conceptos de la asignatura.

2.3.2 Etapa de definición del problema a resolver

El llamado "Triángulo del Litio" es una extensa región geográfica que abarca países como Argentina, Bolivia y Chile. Dentro de Argentina, esta región incluye partes de tres provincias del noroeste: Jujuy, Catamarca y Salta.

Los equipos 1, 3, 4 y 5 eligieron ubicar sus casos en la región donde se encuentran el Salar de Olaroz y el Salar de Cauchari, en la provincia de Jujuy. En cambio, los equipos 2 y 6 optaron por enfocarse en la zona del Salar del Hombre Muerto, que se extiende principalmente en Catamarca y en menor proporción en Salta, y en la zona de Antofagasta de la Sierra en Catamarca, respectivamente.

A continuación se muestra una tabla con las propuestas elegidas por cada equipo.

Tabla 5 Casos de estudio por equipo.

Equipo 1	Gestión sostenible del agua
Equipo 2	Monitoreo hidrogeológico de cuña salina
Equipo 3	Centro de desarrollo y formación
Equipo 4	Cooperativa textil
Equipo 5	Servicios de consultoría
Equipo 6	Proyecto de ley

Respecto a la propuesta del equipo 1, la iniciativa se centró principalmente en mejorar la eficiencia en el uso del agua, reducir la contaminación, aumentar la disponibilidad de agua potable, reutilizar el agua de lluvia y promover la participación ciudadana en la gestión del recurso.

La propuesta del equipo 2 se enfocó en el control de parámetros para prevenir la reducción o agotamiento de los niveles de agua subterránea en acuíferos debido a la extracción excesiva de salmueras, utilizando como modelo soluciones precedentes similares implementadas por el país vecino de Chile.

Por su parte, el equipo 3 propuso el desarrollo de un centro educativo que mejore la posición de los habitantes de la región en el mercado laboral, tanto en el sector del litio como en otros rubros.

Aprovechando la actividad ganadera y la tradición textil de la región, el equipo 4 propuso la creación de una cooperativa textil que integre a las comunidades autóctonas en toda la cadena de valor, desde la recolección de lana hasta la confección y distribución de prendas. Este enfoque no solo fortalecería las prácticas tradicionales locales, sino que también diversificaría la economía regional. La cooperativa, con el diseño propuesto, se apalancaría con la actividad minera para impulsar el desarrollo económico sostenible y a largo plazo, que se alinee con las necesidades y fortalezas de la comunidad.

El equipo 5 propuso la creación de una consultora encargada de promover e incentivar el desarrollo y fabricación de productos y subproductos derivados del litio que se extrae en la región.

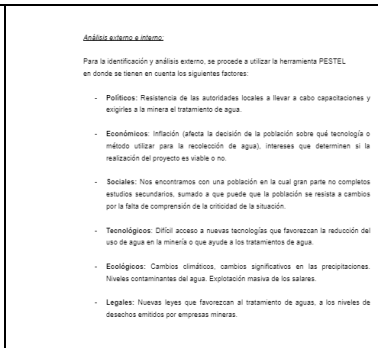
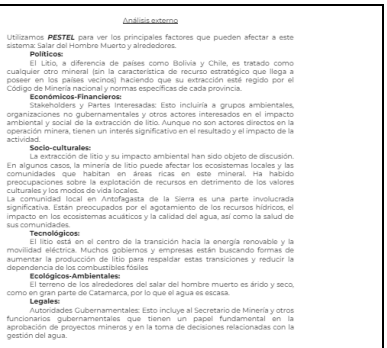
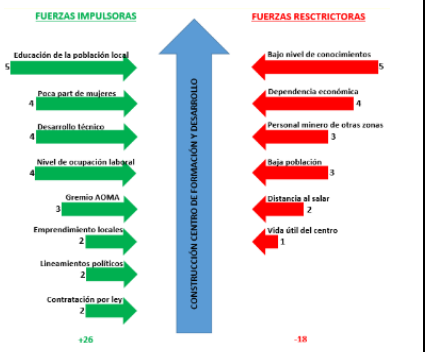
Un proyecto de ley fue la solución presentada por el equipo 6, en el cual los artículos contemplaban la protección de la economía de la población, de su salud y del medio ambiente en general, utilizando como modelo una ley de regulación actual de la provincia de La Rioja.

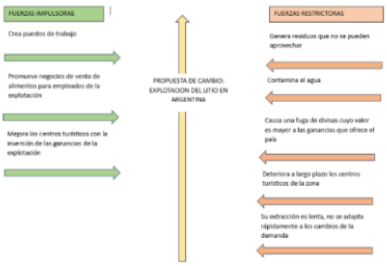
2.3.3 Etapa de caracterización de la posición competitiva

La herramienta PESTEL, uno de los modelos más extendidos para el análisis del entorno en términos macro, fue elegida por los Equipos 1 y 2 para analizar las dimensiones política, económica, social, tecnológica, ecológica y legal de la situación inicial (Urra Urbieta, J., 2018). El Equipo 4 optó por utilizar la matriz FODA, ampliamente conocida y aceptada, para identificar las oportunidades, amenazas, debilidades y fortalezas en la situación de estudio. Por su parte, el análisis de campo de fuerza, utilizado por los Equipos 6, 5 y 3, fue la herramienta seleccionada para evaluar los pros y los contras de la situación inicial estudiada.

A continuación se presentan imágenes de las herramientas presentadas en el informe de avance.

Tabla 6 Herramientas utilizadas por equipo.

<table>
<tr>
<td>Equipo 1</td>
<td>
Análisis externo e interno:
Para la identificación y análisis externo, se procede a utilizar la herramienta PESTEL en donde se tienen en cuenta los siguientes factores:
- Políticos: Resistencia de las autoridades locales a llevar a cabo capacitaciones y exigirles a la minera el tratamiento de agua.
- Económicos: Inflación (afecta la decisión de la población sobre qué tecnología o método utilizar para la recolección de agua), intereses que determinen si la realización del proyecto es viable o no.
- Sociales: Nos encontramos con una población en la cual gran parte no completos estudios secundarios, sumado a que puede que la población se resista a cambios por la falta de comprensión de la criticidad de la situación.
- Tecnológicos: Difícil acceso a nuevas tecnologías que favorezcan la reducción del uso de agua en la minería o que ayude a los tratamientos de agua.
- Ecológicos: Cambios climáticos, cambios significativos en las precipitaciones. Niveles contaminantes del agua. Explotación masiva de los salares.
- Legales: Nuevas leyes que favorezcan al tratamiento de aguas, a los niveles de desechos emitidos por empresas mineras.</td>
<td>Equipo 2</td>
<td>
Análisis externo
Utilizamos PESTEL para ver los principales factores que pueden afectar a este sistema Salar del Hombre Muerto y alrededores.
Políticos:
El Litio, a diferencia de países como Bolivia y Chile, es tratado como cualquier otro mineral (sin la característica de recurso estratégico que llega a poseer en los países vecinos) haciendo que su extracción esté regido por el Código de Minería nacional y normas específicas de cada provincia.
Económicos-Financieros:
Stakeholders y Partes Interesadas: Esto incluiría a grupos ambientales, organizaciones no gubernamentales y otros actores interesados en el impacto ambiental y social de la extracción de litio. Aunque no son actores directos en la operación minera, tienen un interés significativo en el resultado y el impacto de la actividad.
Socio-culturales:
La extracción de litio y su impacto ambiental han sido objeto de discusión. En algunos casos, la minería de litio puede afectar los ecosistemas locales y las comunidades que habitan en áreas ricas en este mineral. Ha habido preocupaciones sobre la explotación de recursos en detrimento de los valores culturales y los modos de vida locales.
La comunidad local en Antofagasta de la Sierra es una parte involucrada significativa. Están preocupados por el agotamiento de los recursos hídricos, el impacto en los ecosistemas acuáticos y la calidad del agua, así como la salud de sus comunidades.
Tecnológicos:
El litio está en el centro de la transición hacia la energía renovable y la movilidad eléctrica. Muchos gobiernos y empresas están buscando formas de aumentar la producción de litio para respaldar estas transiciones y reducir la dependencia de los combustibles fósiles
Ecológicos-Ambientales:
El terreno de los alrededores del salar del hombre muerto es árido y seco, como en gran parte de Catamarca, por lo que el agua es escasa.
Legales:
Autoridades Gubernamentales: Esto incluye al Secretario de Minería y otros funcionarios gubernamentales que tienen un papel fundamental en la aprobación de proyectos mineros y en la toma de decisiones relacionadas con la gestión del agua.</td>
</tr>
<tr>
<td>Equipo 3</td>
<td>
</td>
<td>Equipo 4</td>
<td>
Fortalezas	Ponderación	Calificación	Puntaje
Gran disponibilidad de materia prima (llamas)	0,15	3	0,45
Gran tradición en la confección de productos textiles en la región	0,1	3	0,3
Disponibilidad de mano de obra local	0,05	2	0,1
Acceso al financiamiento de parte de fondos provenientes de la actividad minera	0,2	4	0,8
		F	1,65

Debilidades	Ponderación	Calificación	Puntaje
Falta de mano de obra especializada (ingenieros, técnicos, etc.)	0,15	3	0,45
Infraestructura limitada (electricidad, agua potable, etc.)	0,2	4	0,8
Falta de atención medica de calidad	0,05	3	0,15
Falta de una estructura educativa completa (primarias, secundarias y terciarios)	0,1	4	0,4
		D	1,8
</td>
</tr>
<tr>
<td>Equipo 5</td>
<td>
</td>
<td>Equipo 6</td>
<td>
</td>
</tr>
</table>

Todos los equipos lograron delinear estrategias, aunque con distintos grados de cohesión entre la situación deseada, la situación inicial, las herramientas utilizadas y los resultados obtenidos. Además, todos los equipos pudieron expresar la situación a alcanzar en términos de objetivos a cumplir, aunque solo los Equipos 4 y 5 lograron cuantificar estos objetivos. En cuanto al horizonte temporal para el cumplimiento de los objetivos, a excepción del Equipo 4, que planeó una serie de metas a 3 y 10 años, y objetivos a 40 años, el resto de los equipos no superó un horizonte de 2 años.

Todos los equipos identificaron correctamente a las partes interesadas, incluyendo las comunidades locales, los capitales privados, las organizaciones ambientales, y los estados nacional, provincial y municipal en el análisis de la situación inicial.

El primer informe de avance presentó dificultades para los estudiantes en la identificación precisa del problema a estudiar, errores en la aplicación de las herramientas, deficiencias en la redacción y problemas en la cuantificación de objetivos a largo plazo.

2.3.4 Etapa de Planeamiento e identificación de recursos

Se propuso utilizar una clasificación de recursos, entendidos como el conjunto de elementos que resuelven una necesidad, en tangibles, intangibles y humanos como una categoría particular (Arbelo

Alvarez, A.; Pérez Gómez, P., 2001) (Thompson, A. y col., 2018). Con excepción del Equipo 5, los demás equipos no enfrentaron dificultades para identificar estos recursos. La cohorte pudo identificar y caracterizar los recursos tangibles, es decir, los físicos y materiales que son visibles y palpables, así como los recursos humanos involucrados. No obstante, surgieron dificultades con respecto a los recursos intangibles. Los Equipos 1, 2 y 3 no incluyeron en sus planes, por ejemplo, el apoyo técnico y de consultoría, las políticas y normativas, las relaciones institucionales y colaboraciones, la capacitación y formación continua, la comunicación y coordinación eficaz, entre otros. En contraste, los Equipos 4 y 6 sí contemplaron un conjunto adecuado de recursos intangibles para alcanzar sus metas planificadas.

2.3.5 Etapa de elaboración de presupuestos

Todos los equipos lograron expresar la necesidad de recursos tanto en unidades físicas como monetarias, a pesar de las dificultades señaladas en el inciso anterior. No obstante, solo el Equipo 3 identificó correctamente las inversiones y las diferenciaron de los costos. Estas dificultades detectadas se deben a los diversos grados de avance de los estudiantes en relación con el plan de estudios de la carrera. En cuanto a la financiación de las propuestas, los Equipos 3, 4 y 6 mencionaron las fuentes de ingreso para cubrir el desarrollo de las soluciones en un contexto de ejecución simulada. Sin embargo, solo el Equipo 3 presentó un presupuesto detallado, que abarca desde los ingresos hasta los gastos.

2.3.6 Etapa de definición de elementos de control e indicadores de gestión

La totalidad de los equipos presentó indicadores para la medición del desempeño de las soluciones en ejecución; sin embargo, ninguno de ellos contempló un conjunto integral necesario para el monitoreo eficaz y eficiente orientado a la consecución de los objetivos. Las dimensiones del Cuadro de Mando Integral, según Kaplan y Norton, se dividen en cuatro perspectivas principales que permiten a las organizaciones gestionar su desempeño de manera integral. En particular, en la dimensión de aprendizaje y crecimiento, los equipos no incluyeron indicadores relacionados con la capacitación y desarrollo del personal, ni con el nivel de colaboración y participación. En cuanto a la dimensión financiera, ninguno de los equipos contempló el retorno de la inversión ni la medida de la rentabilidad general, entre otros aspectos relevantes. Por otro lado, las dimensiones de procesos internos y clientes fueron las más abordadas, con una mayor cantidad de indicadores de gestión propuestos.

2.2.7 Etapa de exposición de resultados y cierre

Los equipos expusieron con claridad los resultados del trabajo que llevaron adelante durante el cuatrimestre. Fueron precisos y hábiles para elegir aquella información relevante que mostrar a sus colegas y equipo docente. Se percibió un manejo experto en las herramientas para la presentación, en cambio se detectaron algunas dificultades en la gestión del tiempo otorgado. La cohorte se mostró interesada en las exposiciones de sus colegas, fomentando un intercambio entre ellos al finalizar las mismas.

3. CONCLUSIONES

La actividad del hackathon permitió a los estudiantes explorar diversos enfoques y soluciones para abordar los desafíos de un problema abierto, específicamente aquellos vinculados a la explotación del litio en Argentina. Esto contribuyó significativamente a la competencia de “Identificar, formular y resolver problemas de ingeniería”.

Además, se fortaleció la competencia de “Utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de aplicación en la ingeniería” mediante la incorporación de nuevas herramientas y técnicas que facilitaron la búsqueda de soluciones, la priorización de alternativas, la toma de decisiones, el diagnóstico de la situación inicial, la confección de presupuestos y el control de la gestión, entre otras.

Aunque el desempeño y la comunicación efectiva en equipos de trabajo fueron alcanzados a niveles satisfactorios, la competencia de “Aprender en forma continua y autónoma” mostró mejoras dispares entre los estudiantes. Los equipos actuaron de acuerdo con principios éticos, asumiendo sus deberes profesionales con seriedad y demostrando un firme compromiso con el bienestar social.

Todas las etapas planificadas del trabajo práctico se completaron en tiempo y forma, y durante el cuatrimestre se mantuvo un alto nivel de interés y participación de los estudiantes, lo que refuerza la eficacia de las nuevas y disruptivas herramientas de enseñanza.

A pesar de que se identificaron oportunidades de mejora, principalmente detectadas en los informes de avance que entregaron los equipos, la cohorte mostró en términos generales una sólida comprensión

teórica y una aplicación práctica significativa de los conceptos concernientes a la asignatura. El equipo docente abordó los desvíos detectados con una clase por fuera de lo planificado, para revisar el contenido teórico de los temas con mayores dificultades, como por ejemplo los indicadores, y su efectiva aplicación en el hackathon.

Se logró una efectiva integración entre las unidades del programa y las actividades desarrolladas, reforzando el eje central de la asignatura compuesto por la estrategia como manera de pensar la acción, por los planes como los pasos a seguir para conseguir lo deseado, y el control de lo ejecutado como variable de entrada para la mejora. El hackathon HACKPYCR resultó ser un ejercicio colaborativo eficaz que facilitó la aplicación integral de los conocimientos teóricos en contextos reales y desafiantes.

4. REFERENCIAS.

Almaraz Mendez, F.; Martín García T. (2021). University Hackathons: new ways of educational and social innovation. The experience of the University of Salamanca. Journal of Higher Education Theory and Practice, 21(7), 56-62. doi: https://doi.org/10.33423/jhetp.v21i7.4486

Arbelo Alvarez, A.; Pérez Gómez, P. (2001). La reputación empresarial como recurso estratégico: un enfoque de recursos y capacidades. Congreso Nacional de ACEDE.

Argentina, Ministerio de Educación. Comisión Nacional de Evaluación y Acreditación Universitaria. (2021). RS-2021-42727566-APN-ME – ANEXO III - Criterios de Intensidad de la Formación Práctica - Ingeniero Industrial.

Argentina. Ministerio de Economía. (28 de junio de 2023). Planeamiento y Gestión para el Desarrollo Productivo y de la Bioeconomía. Obtenido de https://www.argentina.gob.ar/noticias/posco-duplica-inversion-y-llega-us-1600-millones-para-producir-litio-en-catamarca-y-salta

Consejo Federal de Decanos de Ingeniería-CONFEDI. (2018). Propuesta de Estándares de Segunda Generación para la Acreditación de Carreras de Ingeniería en la República Argentina “Libro rojo de CONFEDI”. Argentina.

CREEBBA. (2023). Centro regional de Estudios Económicos de Bahía Blanca. Argentina. (I. d.-E. especiales, Ed.) Obtenido de https://www.creebba.org.ar/iae/iae179/3_litio_IAE_179.pdf

Kowalski, V. A., Erck, I. M., Enriquez, H. D. (2015). Formación por competencias en ingeniería industrial: ¿moda o mejora académica? Congresso Internacional de Educação Cientifica e Tecnológica. Santo Ângelo – RS – Brasil. Obtenido de https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/RIDUNaM_dcc2b1a80bc879cb6488eae5901fb167

Ríos Muñoz, D. y Araya D. (2017). Los desafíos de la evaluación por competencias en el ámbito educativo. Educación e investigación, 1073-186. doi:10.1590/s1678-4634201706164230

Szymanska, I.; Sesti, T.; Motley, H. Puja, G. (2020). Los efectos de los hackatones en loas habilidades empresariales y la autoeficacia percibida como factores que configuran las intenciones empresariales. Ciencias Administrativas, 10(3). doi: https://doi.org/10.3390/admsci10030073

Thompson, A. y col. (2018). Administración estratégica. Teoría y casos. (Vols. ISBN 10-145626093-6). Ciudad de México: Mc Graw Hill.

Universidad Nacional de Luján - UNLu. (2022). Programa de la asignatura "Planeamiento y Control de recursos". Departamento de certificaciones académicas, asignaturas de la carrera Ingeniería Industrial. , Luján. Obtenido de http://www.certificaciones.unlu.edu.ar/sites/www.certificaciones.unlu.edu.ar/files/site/Programas/25/40817.pdf>

Urra Urbieta, J. (2018). Dirección estratégica para el siglo XXI. La gestión ante los límites del crecimiento (Vols. ISBN 978-84-368-3951-7). Madrid, España: Ediciones Pirámide.

DESAFÍOS EN LA FORMACIÓN DE INGENIEROS INDUSTRIALES EN LOS ALBORES DE LA INDUSTRIA 5.0

Benegas, Miguel; Camblong, Jorge

Universidad Nacional de General Sarmiento. Instituto de Industria; Argentina
mbenegas@campus.ungs.edu.ar; jcamblong@campus.ungs.edu.ar

Resumen

Industria 5.0 es producto de la evolución incremental del modelo 4.0. Sin rasgos disruptivos, este modelo se diferencia a partir de una mayor focalización en valores sociales y ecológicos. Sus desafíos incluyen la heterogeneidad social, la medición del valor ambiental y social y la integración de toda la cadena de valor. Mientras la industria 4.0 aborda la sostenibilidad desde una perspectiva tecnológica, la industria 5.0 adopta un enfoque holístico que coloca al ser humano en el núcleo del proceso productivo. Este cambio de enfoque empodera a la industria para alcanzar metas sociales, además de las económicas. Este contexto trae consigo la necesidad de una educación 5.0 que se centre en la gestión de tecnologías y maquinarias con un enfoque humanista, desarrollando habilidades cognitivas avanzadas y gestión organizacional. Las competencias esenciales incluyen tanto habilidades técnicas y digitales como blandas e inteligencia emocional. Se identifican cinco grupos de competencias clave: habilidades blandas (flexibilidad y competencias sociales), duras (competencias profesionales y habilidades técnicas), cognitivas (habilidades analíticas e inteligentes), emocionalmente inteligentes (autoconciencia y empatía) y digitales (alfabetización e interactividad digitales). La educación 5.0 para ingenieros industriales debe basarse en las tecnologías habilitadoras de la industria 5.0, fomentando competencias cognitivas elevadas tanto en tecnologías como en gestión organizacional. Basándose en lineamientos conceptuales de diversos autores, se propone crear un espacio formativo llamado "Espacio de Innovación en Ingeniería 5.0" (Exl^{2}50). Este espacio, orientado hacia la producción futura, funcionará como una plataforma educativa y de formación, proporcionando un entorno para la enseñanza práctica y multidisciplinaria en producción. El Exl^{2}50 busca materializar la visión de la industria 5.0 mediante un enfoque de fábrica de aprendizaje combinado con aprendizaje basado en escenarios que permita que los estudiantes adquieran experiencia práctica en todo el proceso productivo, desde la solicitud del cliente hasta la entrega de los productos desarrollados y fabricados.

Palabras clave: Industria 5.0, Factor humano, Educación 5.0, Competencias, Fábrica de aprendizaje

ABSTRACT

Industry 5.0 is the product of the incremental evolution of the 4.0 model. Without disruptive features, this model differentiates itself through a greater focus on social and ecological values. Its challenges include social heterogeneity, the measurement of environmental and social value, and the integration of the entire value chain. While Industry 4.0 addresses sustainability from a technological perspective, Industry 5.0 adopts a holistic approach that places the human being at the core of the production process. This change of focus empowers industry to achieve social goals, in addition to economic ones. This context brings with it the need for a 5.0 education that focuses on the management of technologies and machinery with a humanistic approach, developing advanced cognitive skills and organizational management. Essential competencies include both technical and digital skills, as well as soft skills and emotional intelligence. Five groups of key competencies are identified: soft skills (flexibility and social skills), hard skills (professional skills and technical skills), cognitive skills (analytical and intelligent skills), emotionally intelligent skills (self-awareness and empathy) and digital skills (digital literacy and interactivity). Education 5.0 for industrial engineers should be based on the enabling technologies of Industry 5.0, fostering high cognitive skills in both technologies and organizational management. Based on conceptual guidelines from various authors, it is proposed to create a training space called "Engineering Innovation Space 5.0" (Exl250). This space, oriented towards future production, will function as an educational and training platform, providing an environment for practical and multidisciplinary teaching in production. Exl250 seeks to materialize the vision of Industry 5.0 through a blended learning factory approach with scenario-based learning that allows students to gain practical experience throughout the production process, from customer request to delivery of developed and manufactured products.

Keywords: Industry 5.0, Human factor, Education 5.0, Skills, Learning factory

1- Introducción

En la transición del paradigma de industria 4.0 al de industria 5.0, uno de los grandes retos consiste en potenciar las habilidades requeridas para los nuevos puestos de trabajo en especial para los futuros ingenieros industriales. Potenciar competencias de las personas potenciando sus habilidades tecnológicas y sus habilidades blandas, mejoraría ampliamente el impacto de este paradigma 5.0 tanto en la industria como en la sociedad. Los cambios tecnológicos implican cambios de comportamiento y esto, con planes adecuados, derivará en un beneficio para todos.

Existe una necesidad de repensar de qué forma los futuros ingenieros industriales adquieren las competencias a la luz de los nuevos desarrollos tecnológicos que tienen un impacto significativo en la forma en que diseñarán los sistemas de producción del futuro.

Los ingenieros industriales como actores en un escenario de producción futuro necesitarán competencias específicas para enfrentar los nuevos desafíos relacionados con los desarrollos tecnológicos y organizacionales y los modelos de negocio vinculados a la industria 5.0.

En este artículo, se describen las características de la transición hacia el paradigma de industria 5.0 y se analizan las perspectivas que afronta el factor humano en este proceso. Para ello, se realizó una revisión sistemática de la literatura. El estudio comienza con la descripción de las características de este operador 4.0 vinculado a los nuevos procesos de producción y las competencias necesarias para este nuevo escenario.

Además se analizan las características de la formación de los futuros ingenieros industriales en el contexto del paradigma 5.0, analizando las características y enfoques necesarios para la misma. Esta debe sustentarse en las tecnologías facilitadoras de la industria 5.0, promoviendo el desarrollo de competencias cognitivas avanzadas en tecnologías, procesos de trabajo y gestión organizacional.

Finalmente, a partir de lineamientos conceptuales enunciados por diversos autores se propone la creación de un espacio formativo que haga más efectiva la formación de los futuros ingenieros industriales. Este espacio busca hacer más concreta la visión abstracta de la industria 5.0 mediante un enfoque de fábrica de aprendizaje combinado con el aprendizaje basado en escenarios.

2- La transición de la Industria 4.0 a la Industria 5.0

Han pasado poco más de 10 años desde que se estableció en Alemania el concepto de industria 4.0. Este paradigma, basado en la idea de fusionar lo físico y lo virtual a través de sistemas ciber físicos e interconectando humanos, máquinas y dispositivos a través del Internet de las cosas (Internet of things – IoT) entre otros habilitadores tecnológicos, hace posible la interconexión horizontal y vertical en toda la cadena de valor, desde el cliente hasta el proveedor, en todo el ciclo de vida del producto, y a través de diferentes departamentos funcionales conformando nuevas redes de valor y ecosistemas (Schwab, 2016a) (Schwab, 2016b) (Walas Mateo, 2023).

En la actualidad, estamos atravesando la madurez del modelo de industria 4.0, desarrollándose una vertiginosa evolución de los sistemas de producción hacia un nuevo paradigma conocido como industria 5.0. Este nuevo modelo, que surge como una versión superadora del modelo industria 4.0, impulsa a empresas productivas tradicionales a migrar hacia entornos de producción inteligentes, que demandan nuevas soluciones para adaptar los procesos productivos e incorporar nuevas prácticas que permitan generar mayor competitividad por parte de las empresas industriales. La evolución hacia un nuevo paradigma desde el modelo industria 4.0, se puede explicar por la dinámica de los sistemas productivos, la digitalización, el aumento de la complejidad en los mercados, la necesidad de dar respuesta a la emergencia ambiental, entre otras cuestiones (Walas Mateo, 2023).

Mientras que la industria 4.0 apunta a generar sistemas productivos cognitivos, la naciente era de la industria 5.0 propone una evolución desde la anterior, para establecer cadenas de valor globales más resilientes, sostenibles y circulares que beneficien a la sociedad en su conjunto.

Una de las primeras cuestiones que genera debate sobre el alcance e implicancias de los nuevos modelos productivos, es sobre el rol de las personas. Particularmente uno de los pilares del modelo 5.0 está en la centralidad de las personas dentro del sistema productivo (Müller, 2020) (Breque et al., 2021).

Breque et al (2021) afirman que una de las transiciones paradigmáticas más importantes que caracterizan a la industria 5.0 es el cambio de enfoque del progreso impulsado por la tecnología a un abordaje completamente centrado en el ser humano. Esto significa que la industria debe tener en cuenta las limitaciones sociales, con el objetivo de no dejar a nadie atrás. Esto tiene una serie de consecuencias, relacionadas con la seguridad y entorno de trabajo propicio, al respeto de los derechos humanos y a las competencias requeridas para los trabajadores.

Walas Mateo & Redchuk (2021) hablan de la oportunidad de complementación y la nueva definición del rol de las personas, trabajando en forma sinérgica con los sistemas tecnológicos.
Asistimos a una transición innovadora que define el ritmo del cambio tecnológico, pero también económico y social. La industria 5.0 "reposiciona" completamente las tecnologías al servicio de las personas y de toda la humanidad (Breque et al., 2021).
Xu et al. (2021) consideran que la industria 5.0 debe entenderse como una extensión de las características principales y factores esenciales diseñados para colocar la industria futura en la nueva sociedad.
La Comisión Europea identificó los seis principales ejes tecnológicos 5.0: soluciones centradas en el ser humano e interacción personalizada humano-máquina, tecnologías inspiradas en la naturaleza y materiales inteligentes, gemelos digitales y simulación en tiempo real, tecnologías seguras para la transmisión, almacenamiento y análisis de datos, inteligencia artificial y finalmente tecnologías para la eficiencia energética, energía renovable, almacenamiento de energía y autonomía confiable (Breque et al., 2021).
En el pasado, la interacción entre el usuario y las tecnologías ha sido analizada desde diferentes perspectivas, abordando las capacidades y limitaciones del operador y las máquinas para definir los criterios para automatizar tareas de proceso y reemplazar completamente a los operadores industriales (Winter et al., 2014).
Es cada vez más posible que la industria 5.0 genere una innovación sin precedentes en la interacción humano-máquina (HMI) partiendo de la creciente presencia de máquinas en la vida cotidiana de las personas y la consiguiente demanda de habilidades específicas en el campo de la HMI y, más generalmente, en el análisis computacional de factores humanos (Nahavandi, 2019).

3- Perspectivas del rol del factor humano en la transición a la industria 5.0

Aunque existe un acuerdo común sobre la creciente necesidad de continuar con el desarrollo tecnológico y su implementación en nuevos modelos de negocios, un obstáculo importante radica en la percepción y complejidad que se tiene en la sociedad sobre lo que representa la industria 4.0, cómo adoptarla para la práctica industrial, cómo incluir el factor humano en lugar de excluirlo y cómo evaluar su aplicabilidad (Erol et al., 2016).
Es importante determinar las funciones y habilidades requeridas por el factor humano en la transición de la industria 4.0 a la industria 5.0. Las empresas deben evolucionar hacia la industria 5.0 con la premisa de implementar un sistema automatizado balanceado, donde la relación hombre-máquina sea representada ahora como una relación capacidad física-capacidad intelectual (Carro Suárez & Sarmiento Paredes, 2022).
Se relaciona a la industria 5.0 con el desarrollo exponencial de la robótica y de la inteligencia artificial a través de dos enfoques:

1. El primero, es el trabajo en conjunto con el ser humano (Kadir & Broberg, 2021) donde la colaboración activa y el trabajo en sincronía entre el robot y los empleados humanos les permite complementarse mutuamente, combinando la capacidad creativa del ser humano, su experiencia y juicio con la fuerza de trabajo del robot (Østergaard, 2018).
2. El segundo, se refiere a la bioeconomía, como el uso inteligente de recursos biológicos para propósitos industriales en la búsqueda de equilibrio entre la ecología, la industria y la economía, es decir, priorizar la sustentabilidad (Demir et al., 2019).

Como se mencionó anteriormente, la Comisión Europea definió las tecnologías que respaldan el concepto de industria 5.0. Con estas tecnologías se busca empoderar al sector industrial para alcanzar objetivos sociales (Lu et al., 2021); la sostenibilidad, desarrollando procesos circulares que reutilicen y reciclen los recursos naturales, que reduzcan residuos y el impacto ambiental con una mejor eficiencia; y la resiliencia, preparando a las empresas y sociedad contra disrupciones y eventos impredecibles en tiempos de crisis e incertidumbre (Breque et al., 2021).
La necesidad de recopilar más conocimientos y una mejor comprensión del papel que juega el factor humano en conjunto con la tecnología es fundamental. Por lo que preparar a las personas de las empresas y sociedad en general a través de una educación, capacitación y motivación adecuadas en escuelas, universidades, empresas, sociedad civil y el propio gobierno es el gran desafío que enfrentarán las nuevas generaciones en esta nueva era digital (Carro Suárez & Sarmiento Paredes, 2022).
Es por esto por lo que las organizaciones tendrán que desarrollar una nueva cartera de capacidades de transformación digital que permita flexibilidad y capacidad de respuesta a los rápidos cambios

necesarios para generar nuevas propuestas de valor para los clientes y transformar los modelos operativos (Berman, 2012).

4- Operador 4.0

En este escenario, nace el concepto de "Operador 4.0", describiendo una visión futurista de trabajadores inteligentes y capacitados haciendo el trabajo, asistidos por máquinas y herramientas tecnológicas digitales. Tal operador puede utilizar completamente las capacidades digitales y capitalizar las oportunidades emergentes en fábricas habilitadas para la industria 4.0 (Kadir & Broberg, 2021).
Se concibe al operador 4.0 como un operador inteligente y hábil que no solo realiza trabajo "cooperativo" con robots, sino también trabajo asistido por máquinas según sea necesario, mediante sistemas ciber físicos humanos, tecnologías avanzadas de interacción humano-máquina y automatización adaptativa hacia sistemas de trabajo en simbiosis humano-automatización (Romero, Stahre, et al., 2016).
El concepto del operador 4.0 surge en paralelo a la 4° revolución industrial y sus necesidades, y también resultó de la constante evolución de los operadores. Romero, Stahre, et al. (2016) describen la evolución de estos operadores. La primera generación de operadores, operador 1.0, se caracterizaba por el trabajo manual con el uso de algunas herramientas y máquinas que funcionaban manualmente. El operador 2.0 corresponde al trabajo asistido, es decir, el trabajador utiliza el apoyo de herramientas computacionales. Luego, el operador de tercera generación, el operador 3.0, se define como el trabajador cooperativo, en el cual el ser humano se involucra con robots, resultando en un trabajo de colaboración. Finalmente, y de acuerdo con las necesidades actuales, el operador 4.0 corresponde al operador inteligente del futuro que realiza un trabajo asistido a través de la integración humana en los sistemas ciberfísicos.
El operador 4.0 se caracteriza como una proyección futura de un operador inteligente que, dependiendo de la situación y/o necesidad, realiza el trabajo cooperativo con robots y el trabajo asistido por máquinas, a través de sistemas ciberfísicos, tecnologías avanzadas de interacción hombre-máquina y automatización adaptativa (Romero, Stahre, et al., 2016). De una manera más simplificada, el operador 4.0 se refiere a trabajadores calificados que desarrollan habilidades creativas, innovadoras y de improvisación, sin comprometer los objetivos de producción. Además, a través de la incorporación de sistemas automatizados, también alivian la sobrecarga física y mental (Kaasinen et al., 2020).
Romero, Stahre, et al. (2016) categorizan al operador 4.0 a partir de las tecnologías asociadas y los subdividen en diferentes tipos:

- El Operador Superfuerte corresponde al trabajador que, con el uso de la tecnología, mejora sus condiciones físicas para el trabajo, por ejemplo, usando exoesqueletos.
- El Operador Aumentado y el Operador Virtual utilizan herramientas de Realidad Aumentada y Virtual respectivamente.
- El Operador Inteligente recurre a la inteligencia artificial.
- El Operador Colaborativo utiliza la tecnología para mejorar y facilitar la interacción Hombre-máquina, por ejemplo, mediante el uso de robots colaborativos (Cobots).
- El Operador Social utiliza y comparte su conocimiento con la sociedad.
- El Operador Analítico corresponde al trabajador enfocado en el análisis de datos.
- El Operador Saludable es el operador que ha despertado gran interés de estudio, ya que usa dispositivos de rastreo de bienestar, permitiendo así que se tomen medidas que pongan al ser humano en el centro de la producción de forma saludable y segura (Kaasinen et al., 2020) .

El operador saludable 4.0 surgió como respuesta a las preocupaciones relacionadas con la seguridad y salud ocupacional de los trabajadores, ya que anteriormente no era posible cuantificar, en tiempo real, el bienestar de los operadores ni su satisfacción en el trabajo.
La visión del operador 4.0 tiene como objetivo crear relaciones basadas en la confianza y la interacción entre humanos y máquinas, permitiendo que esas fábricas inteligentes capitalicen no solo las fortalezas y capacidades de las máquinas inteligentes, sino que también empoderen a sus "operadores inteligentes" con nuevas habilidades y dispositivos para capitalizar plenamente las oportunidades creadas por las tecnologías de la industria 4.0. En este sentido, un sistema de producción centrado en el ser humano se caracteriza por permitir una unificación de la planificación y la implementación, esperando que el operador esté en control del proceso de trabajo y la tecnología, y fomentando la utilización de las competencias humanas (Romero, Stahre, et al., 2016).

Taylor et al. (2020) sostienen que el operador 4.0 pasará de “operador” a “tomador de decisiones”, trabajando con sistemas de producción digitalizados y automatizados y utilizando la creatividad para resolver desafíos inesperados e imprevistos. Siguiendo estas visiones futuristas, Romero et al. (2018) destacan que los futuros operadores necesitarán ser capaces de gestionar diferentes situaciones laborales e interacciones complejas. Por lo tanto, necesitan recibir la información correcta y el conocimiento organizado para adaptarse a sus procesos cognitivos. De manera similar, (Peruzzini et al., 2018) consideran las necesidades del operador 4.0 como fundamentales al adoptar el enfoque centrado en el ser humano para integrar factores humanos en los sistemas de trabajo (Kadir & Broberg, 2021).

El operador 4.0 desempeña un papel clave en la fábrica del futuro, donde las tecnologías permiten que pueda implementar sus capacidades y mejorar las tareas que realiza (Fantini et al., 2020). Este operador 4.0, cuyo rol evoluciona hacia la toma de decisiones y la resolución de problemas, interviene en sinergia con sistemas artificiales en todas las fases del proceso de producción, desde la comprensión de las tareas hasta la toma de decisiones y el rendimiento productivo (Emmanouilidis et al., 2019).

La implementación del operador 4.0 en el ambiente fabril exige nuevas cualificaciones y flexibilidad por parte de los operadores, para que sea posible acompañar la evolución de la tecnología digital y las nuevas fábricas inteligentes. Una parte integral del concepto del operador 4.0 es, entonces, su relación con las tecnologías de la industria 4.0, es decir, cómo las capacidades cognitivas, sensoriales, físicas e interactivas de los operadores pueden ser potenciadas por la interacción con las diversas tecnologías (Alves, 2020).

Para lograrlo, es crucial adoptar estrategias que apoyen a los trabajadores, tanto a aquellos que ya están familiarizados con las nuevas tecnologías digitales como a quienes no lo están. En cualquier caso, es indispensable reorganizar los procesos de trabajo al incorporar estas tecnologías (Kaasinen et al., 2020).

5- Competencias para la producción 5.0

Para los escenarios de producción futuros en el sentido de la industria 5.0, deben abordarse competencias que permitan a los futuros gerentes y trabajadores de una fábrica enfrentar los desafíos de un sistema de producción cada vez más digitalizado (Erol et al., 2016).

A nivel de empleados, la industria 4.0 promueve la idea de trabajadores que se centrarán cada vez más en actividades creativas, innovadoras y comunicativas. Las actividades rutinarias, que también incluyen tareas de monitoreo, son asumidas total o parcialmente por las máquinas.

Erol et al. (2016) proponen una taxonomía de las habilidades y competencias requeridas con respecto a los desafíos de la industria 4.0 en base a esta visión del trabajo futuro:

- **Competencias personales:** la capacidad de una persona para actuar de manera reflexiva y autónoma. La competencia personal también comprende la capacidad de aprender (desarrollar habilidades cognitivas), desarrollar una actitud propia y un sistema de valores éticos.
- **Competencias sociales/interpersonales:** se refiere al hecho de que un individuo incrustado en un contexto social, por ejemplo, una organización, requiere la capacidad de comunicarse, cooperar y establecer conexiones y estructuras sociales con otros individuos y grupos.
- **Competencias relacionadas con la acción:** relacionada con la acción de una persona es la capacidad de llevar ideas individuales o socialmente construidas a la acción. Es la capacidad de un individuo para integrar conceptos en su propia agenda para transferir exitosamente los planes a la realidad, no solo a nivel individual sino también a nivel organizacional.
- **Competencias relacionadas con el dominio:** se refieren a la capacidad de acceder y usar el conocimiento del dominio para un trabajo o tarea específica. El conocimiento del dominio incluye metodologías, lenguajes, herramientas que son especialmente importantes para un problema o dominio empresarial y va más allá de lo trivial.

Para los ingenieros, una comprensión profunda de las interrelaciones entre los componentes eléctricos, mecánicos y computacionales será una habilidad vital para desarrollar productos y procesos innovadores y resolver problemas relacionados con la calidad. Tanto los productos como los procesos serán cada vez más diseñados a través de las llamadas representaciones virtuales, lo que requiere una habilidad hacia el pensamiento abstracto y la modelización con el apoyo de software especializado. El software y los datos son elementos clave para la planificación y el control inteligentes de máquinas y fábricas del futuro. Por lo tanto, se requiere que los ingenieros adquieran conocimientos sobre arquitecturas de software de vanguardia, técnicas de modelado y programación.

Además, los métodos estadísticos y las técnicas de minería de datos son habilidades clave para los ingenieros de producción del futuro. Los avances en la tecnología de materiales requerirán habilidades relacionadas con nuevos procesos de producción, por ejemplo, la impresión 3D. Los principios lean pueden considerarse una competencia básica que también debe transferirse al nivel técnico.
La educación 4.0 consiste en la combinación de la información y los datos del mundo real y virtual en el ámbito de la enseñanza, pues el conocimiento, las cualificaciones y la formación personal son una parte esencial de la industria 4.0.
La formación y la educación deben estar orientadas a la creación de competencias específicas: tecnológicas, metodológicas, sociales, políticas y actitudinales. Las competencias tecnológicas incluyen las competencias especializadas para áreas específicas y las competencias adquiridas en el ámbito profesional, es decir, la capacidad, ejecución y experiencia de trabajo. Las competencias metodológicas son las habilidades analíticas, estadísticas y de toma de decisiones. Las competencias sociales, políticas y actitudinales corresponden a las habilidades de gestión de equipos, resolución de problemas, trabajo en equipo y capacidad de comunicación. Por último, las competencias de actitudinales se definen por la autoorganización, creatividad, capacidad de trabajo y de aprendizaje, y apertura y disponibilidad para los cambios.
Además de las cualificaciones académicas y el conocimiento técnico y teórico, cada vez más las “soft skills” o “competencias blandas” revelan una mayor importancia para la industria y las empresas, especialmente aquellas que demuestran la capacidad de toma de decisiones complejas. Estas se basan en las experiencias de los operadores y según Bongomin et al. (2020) son: adaptabilidad y capacidad de cambio, autogestión y organización, trabajo en equipo, habilidades sociales y de comunicación, creatividad, liderazgo, mentalidad de mejora continua y formación a lo largo de la vida, capacidad para tomar decisiones, autonomía, flexibilidad, pensamiento crítico y responsabilidad y confianza.
A partir de la industria 4.0 y su evolución a la 5.0 la educación tiene que modificar sus diferentes programas y desarrollo de competencias para que los estudiantes cuenten con las habilidades necesarias para enfrentarse a un mercado laboral y una sociedad que con mayor frecuencia demanda soluciones tecnológicas personalizadas, hechas a la medida de cada usuario y sus necesidades (García Contreras & Mendoza Hernández, 2023).
En definitiva, la educación 5.0 marca dos grandes competencias, las de alta cognición sobre tecnología (duras y digitales) y las de gestión organizacional (blandas y de inteligencia emocional) (Lopes Martínez et al., 2022).
De esta forma el contexto educativo se ve en la obligación de cambiar sus contenidos e innovar sus procesos de enseñanza aprendizaje, para crear las competencias adecuadas que cumplan con las diferentes demandas de la industria y sociedad, así como cubrir necesidades específicas y generales, para poder dar lugar a nuevas tecnologías que sustituirán a las anteriores (García Contreras & Mendoza Hernández, 2023).
Se busca entonces, fomentar el aprendizaje centrado en el estudiante, el uso de tecnologías educativas avanzadas, el desarrollo de habilidades socioemocionales y la integración de enfoques multidisciplinarios en la formación de ingenieros (Velásquez Hernández & Echeverri Flórez, 2023).

6- Hacia la formación de ingenieros 5.0

La incorporación de diferentes tecnologías es una realidad indiscutible que está transformando los procesos de producción y generando nuevas exigencias en cuanto a habilidades para los ingenieros. Por ello, es fundamental que su formación se mantenga actualizada y en sintonía con estos cambios, de modo que los profesionales estén equipados para afrontar los desafíos que surgen.
El avance de la industria 5.0, caracterizada por la convergencia de la tecnología, la automatización, y los humanos ha transformado la forma en que se lleva a cabo la producción industrial. La necesidad de profesionales capacitados y especializados en los avances tecnológicos actuales se vuelve apremiante. Además de poseer y desarrollar habilidades blandas correspondientes al área de la inteligencia emocional de las organizaciones y empresas industrializadas
La industria y los ingenieros pueden desempeñar un papel activo en la provisión de soluciones a los desafíos de la sociedad, incluida la preservación de los recursos, el cambio climático y la estabilidad social.
Por lo tanto, es muy importante analizar y comprender la formación de ingenieros para la industria 5.0, identificando los desafíos y oportunidades presentes en el contexto tecnológico y económico actual. Es fundamental explorar a fondo las necesidades y requerimientos del mercado laboral, así como los elementos que conforman el contexto de la formación educativa y pedagógica profesional.

La educación en ingeniería juega un papel fundamental en la preparación de profesionales capacitados para enfrentar los desafíos productivos del futuro. Además de proporcionar conocimientos técnicos y científicos, la educación en ingeniería debe promover habilidades como el pensamiento crítico, la creatividad, la resolución de problemas y la colaboración, para fomentar la capacidad de adaptación a los avances tecnológicos y las demandas del mercado laboral.
El futuro de la educación en ingeniería está estrechamente vinculado a los avances tecnológicos y las necesidades cambiantes de la industria 5.0. Se espera que la formación de los futuros ingenieros se oriente hacia enfoques más prácticos y orientados a proyectos, intentando lograr la integración de tecnologías emergentes, el aprendizaje a distancia y el desarrollo de habilidades transversales, como la resolución de problemas complejos y la comunicación efectiva.
Velásquez Hernández & Echeverri Flórez (2023) identifican cinco enfoques fundamentales que deben estar presentes en la formación de los ingenieros en la era 5.0:

1. Enfoque científico: la formación en ingeniería para la industria 5.0 debe incluir temas de vanguardia en ciencia y tecnología, como la inteligencia artificial, el aprendizaje automático, la computación en la nube, la ciberseguridad y la robótica. Las metodologías de enseñanza deben fomentar el pensamiento crítico, el análisis de datos y la resolución de problemas, así como la experimentación y la investigación científica aplicada.
2. Enfoque humano: reconoce la importancia de las habilidades blandas y el bienestar de los individuos. La formación de ingenieros debe abordar temas relacionados con la inteligencia emocional, el liderazgo, la comunicación efectiva, la gestión del cambio y la diversidad. Es necesario desarrollar competencias que promuevan el trabajo en equipo, la colaboración multidisciplinaria y la ética profesional. Las metodologías de enseñanza deben fomentar la participación activa de los estudiantes, la resolución de problemas reales y la reflexión sobre el impacto social y ético de la tecnología.
3. Enfoque tecnológico: los ingenieros deben recibir formación en temas como la Internet de las cosas, la realidad aumentada, la fabricación aditiva, la automatización y la gestión de datos. Además, deben estar familiarizados con las últimas tendencias y avances en su campo de especialización. Las metodologías de enseñanza deben incluir el uso de herramientas y software de vanguardia, la simulación y el diseño virtual, así como proyectos prácticos que permitan a los estudiantes aplicar sus conocimientos en entornos tecnológicos reales.
4. Enfoque resiliente: los ingenieros deben ser capaces de gestionar situaciones imprevistas, identificar soluciones alternativas y aprender de la adversidad. La formación en ingeniería debe abordar temas como la gestión de riesgos, la planificación de la continuidad del negocio, la gestión de la cadena de suministro y la seguridad cibernética. Las metodologías de enseñanza deben incluir casos de estudio, simulaciones y ejercicios prácticos que permitan a los estudiantes desarrollar habilidades de resiliencia y toma de decisiones bajo presión.
5. Enfoque sostenible: los ingenieros deben recibir formación en temas relacionados con la eficiencia energética, la gestión de recursos, la economía circular y la responsabilidad social corporativa. Se debe promover el diseño y la producción sostenible, así como la implementación de prácticas que reduzcan la huella de carbono y fomenten la conservación del medio ambiente. Las metodologías de enseñanza deben incluir proyectos que aborden desafíos ambientales y sociales, así como la sensibilización sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (ODS). Además, es importante fomentar la ética ambiental y la responsabilidad social en la toma de decisiones y la implementación de soluciones tecnológicas en el contexto de la industria 5.0.

Por esta razón, es necesario que el sistema de formación y entrenamiento de las personas en el marco del sistema educativo sea lo más integral posible, de modo que el estudiante vea de manera integral la aplicación y uso de las tecnologías. Un concepto disruptivo es el de las Fábricas de Aprendizaje (Learning Factories en su terminología en inglés) para crear un ambiente realista e integral en la educación en Ingeniería, entrenamiento e investigación (Lopes Martínez et al., 2021).
Las fábricas de aprendizaje representan un entorno de fabricación realista para la educación, la formación y la investigación. En las últimas décadas, se han construido numerosas fábricas de aprendizaje en el ámbito académico y en la industria.
La definición generalmente aceptada fue acordada dentro de la Academia Internacional de Ingeniería de Producción y de acuerdo con ello una fábrica de aprendizaje se define por:

- Procesos que sean auténticos, incluyan múltiples estaciones y comprendan aspectos tanto técnicos como organizativos.
- Un entorno cambiante se asemeja a una cadena de valor real.
- Un producto físico que se está fabricando.
- Un concepto didáctico que comprende el aprendizaje formal, informal y no formal, posibilitado por las propias acciones de los estudiantes.

Dependiendo del propósito de la fábrica de aprendizaje, el mismo se lleva a cabo a través de la enseñanza, la capacitación y/o la investigación. En consecuencia, los resultados del aprendizaje pueden ser el desarrollo de competencias y/o la innovación.
Lopes Martínez et al. (2021) sostienen que si se fomenta el aprendizaje activo o experiencial mediante experiencias como la creación de laboratorios similares a las Fábricas de Aprendizaje, que replican de manera detallada o general un entorno realista e integral de manufactura, se puede avanzar en lo planteado por Günther et al. en 2020, alineado con la educación 5.0, que coloca al ser humano en el centro y en un nivel superior en la gestión de tecnologías y máquinas.

7- Ingenieros Industriales 5.0

Los procesos disruptivos de la industria 5.0 llevan a la necesidad de una transformación del talento humano, lo cual significa desarrollar nuevas competencias para los futuros ingenieros industriales.
Las tecnologías habilitadoras deben estar presentes en este entorno educacional de manera que sea posible el aprendizaje por experiencia o vivencial, como motor impulsor de la transformación del talento humano requerido actualmente.
Como se ha mencionado, además de las cualificaciones académicas y el conocimiento técnico y teórico, cada vez más las soft skills revelan una mayor importancia para la industria y las empresas, especialmente aquellas que demuestran la capacidad de toma de decisiones complejas. Según Deepa & Seth (2013) el 80% del desempeño profesional está determinado por las habilidades blandas (Soft) y solo el 20% por las habilidades duras (Hard), al mismo tiempo existe un consenso en que las competencias o habilidades blandas son en general difíciles de enseñar en el entorno educativo tradicional, lo cual ha traído como consecuencia que una gran parte de los graduados no tengan las habilidades necesarias para enfrentar de forma efectiva los procesos en la vida real, tal como se demuestra en estudios de campo sobre el tema publicados.
Pero si los futuros ingenieros no comprenden cómo las tecnologías pueden aplicarse en la práctica, no promoverán su uso. Por lo tanto, es necesario desarrollar entornos de aprendizaje que garanticen que la formación se realice con un sentido práctico, siendo un prototipo de la realidad que las personas se encontrarán en el entorno laboral real.
Por ese motivo, las fábricas de aprendizaje han demostrado ser un medio esencial para educar a estudiantes y profesionales en la aplicación práctica de los principios de gestión de la producción.
La práctica de la ingeniería y la gestión se debe lidiar con la incertidumbre, con información incompleta y contradictoria del entorno de una organización. Además, los continuos cambios tecnológicos y organizacionales en el lugar de trabajo también imponen desafíos al individuo.
Sin embargo, el modo predominante de enseñanza es similar a las prácticas de enseñanza desarrollados por décadas, con grandes clases y cursos basados en clases magistrales de una sola disciplina. Por lo tanto, los desarrollos recientes muestran un cambio lento hacia el aprendizaje centrado en el estudiante, como el aprendizaje basado en problemas y el aprendizaje basado en proyectos.
El aprendizaje basado en escenarios (SBL, por sus siglas en inglés) está arraigado en la teoría del aprendizaje situado y la cognición. La teoría del aprendizaje situado sostiene que el aprendizaje es más efectivo cuando tiene lugar en su contexto natural, donde el conocimiento adquirido se va a utilizar. Así, el conocimiento puede transformarse en competencias de acción. Kolb afirma de manera similar que el aprendizaje es efectivo cuando cambia constantemente entre “pensar” – un proceso de conceptualización abstracta, “sentir” – basado en gran medida en experiencias, “observar” – un proceso de observación y reflexión y “hacer” – una etapa activa de experimentación (Erol et al., 2016).
El aprendizaje basado en escenarios (SBL) utiliza escenarios, descripciones estructuradas de problemas del mundo real e instrucciones relacionadas, para apoyar el aprendizaje activo. Por lo tanto, los escenarios son el punto de partida para que los estudiantes se sumerjan en un problema del mundo real y en un proceso de búsqueda de soluciones. Durante este proceso, los estudiantes deben aplicar su conocimiento individual y sus habilidades cognitivas y sociales para resolver

problemas de manera colaborativa en un entorno seguro. SBL es un proceso iterativo y proporciona numerosas oportunidades para retroalimentación y discusiones (Erol et al., 2016).
Erol et al. (2016) realizan una interesante propuesta para la Universidad Técnica de Viena (TU Wien) combinando una Fábrica de Aprendizaje con un enfoque de Aprendizaje Basado en Escenarios.
El propósito es hacer la industria 5.0 más tangible, en el sentido de que el área básica de problemas y el área de soluciones de la industria 5.0 puedan ser más fácilmente abordadas por practicantes y estudiantes.
Para desarrollar escenarios particulares como base para aprender diferentes tipos de competencias en relación con diferentes áreas problemáticas, desarrollaron un marco de competencia-problema que se ilustra en forma de cubo (figura 1), lo que implica un enfoque tridimensional. La primera dimensión del cubo se refiere a los niveles de gestión de la empresa (Management Level): objetos (sensores, actores, red), automatización y control de máquinas, operaciones y control, fabricación, operaciones y control, planificación de negocios y logística. Los niveles de gestión en combinación con las áreas de proceso que corresponden a la segunda dimensión del cubo (Production Process) proporcionan un mapa completo de las diferentes áreas problemáticas de una empresa manufacturera (diseño, ingeniería, fabricación y montaje de productos), desde el diseño del producto hasta la entrega (Erol et al., 2016).

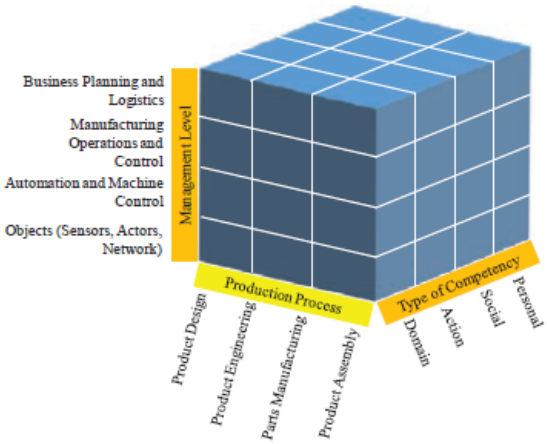


Figura 1 – Cubo problemas y competencias. Fuente: Erol et al. (2016)

Para un desarrollo dirigido de escenarios como medio para el aprendizaje orientado a problemas, la tercera dimensión del cubo (Type of Competency) que corresponde a los tipos de competencias (dominio, destrezas, sociales, personales) sirve como punto de referencia. Basado en estas dimensiones, se pueden modelar y abordar diferentes roles y grupos objetivo para el aprendizaje (por ejemplo, gerente, ingeniero, trabajador) y sus competencias requeridas a través de escenarios apropiados.

8- Propuesta

A partir de estas directrices conceptuales se propone la creación de un espacio o laboratorio denominado "**E**spacio de **I**nnovación en **I**ngeniería **5.0**" (ExI^{2}50). Este ámbito, relacionado con la producción del futuro, funcionará como una plataforma educativa y de capacitación, proporcionando un espacio para la enseñanza práctica y multidisciplinaria en el ámbito de la producción.
El objetivo de ExI^{2}50 es que los estudiantes puedan aprender de manera práctica a lo largo de todo el proceso de producción, desde la solicitud del cliente hasta la entrega de los productos desarrollados y fabricados. Además, ExI^{2}50 ampliará su alcance en relación con las competencias de la industria 5.0, como se menciona en secciones anteriores, y abarcará a diferentes grupos objetivo, como gerentes, ingenieros y trabajadores de empresas industriales.
Las principales características propuestas para ExI^{2}50 son:

- **I+D+i:** poder desarrollar líneas de investigación vinculadas a la "Producción Inteligente". Se espera que ExI^{2}50 sea un "hub" de modo que proveedores de soluciones tecnológicas, empresas de TI y diseñadores de software puedan desarrollar nuevos conceptos, modelos, tecnologías y sistemas en cooperación con la Universidad y puedan validar resultados junto con empresas manufactureras que aplican tecnología en el área experimental de ExI^{2}50.

- **TIC:** proporcionar acceso a nuevas tecnologías y TIC para empresas, especialmente PyMEs, que predominantemente no tienen infraestructura de I+D propia. Si es necesario, expertos académicos de varios campos de investigación pueden apoyar sus actividades de investigación, desarrollo o pruebas.
- **Fabricación:** apoyo a PyMEs o startups, que requieren competencias tecnológicas especiales y capacidades de fabricación o ensamblaje para producir sus prototipos o series pequeñas.
- **Tecnologías blandas o de gestión:** investigación, formación y transferencia de tecnologías vinculadas a la gestión industrial.
- **Enseñanza:** formación en tecnologías habilitadoras 5.0 en carreras de ingeniería y otras carreras tecnológicas. Más allá de eso, la infraestructura se utiliza para construir un vínculo con los actores productivos del territorio.
- **Vinculación:** a través de talleres prácticos y seminarios para graduados y personal de la industria. Especialmente el campo creciente de la digitalización.

9- Conclusiones

Los procesos y tecnologías disruptivas de la industria 5.0 están impulsando una transformación esencial en el talento humano, enmarcada en la educación 5.0, la cual prioriza al ser humano, situándolo en un lugar central y superior en la gestión de tecnologías y máquinas. Un desafío clave es fortalecer las habilidades necesarias para los nuevos roles laborales, especialmente para los futuros ingenieros industriales. Al mejorar tanto las competencias tecnológicas como las habilidades blandas de las personas, se optimizará significativamente la gestión organizacional. Los avances tecnológicos requieren cambios en el comportamiento, y con planes adecuados, esto beneficiará a todos los involucrados.

Es imperativo reconsiderar cómo los futuros ingenieros industriales adquirirán competencias, considerando los desarrollos tecnológicos que impactan profundamente en el diseño de los sistemas de producción del futuro. Como actores en un entorno de producción futuro, los ingenieros industriales necesitarán competencias específicas para enfrentar los nuevos desafíos relacionados con el desarrollo tecnológico, organizacional, y los modelos de negocio asociados a la industria 5.0.

Las tecnologías integradas en la formación de los ingenieros industriales deben contextualizarse en los procesos de enseñanza-aprendizaje activos de los estudiantes.

En este artículo, se describieron las características de la transición hacia el paradigma de la industria 5.0 y se analizaron las perspectivas que enfrenta el factor humano en esta transición. Además, se detallaron las características del operador 4.0 vinculado a los nuevos procesos de producción y las competencias necesarias en este nuevo escenario.

Asimismo, se examinaron las características de la formación de los futuros ingenieros industriales en este paradigma 5.0 y los enfoques que deben estar presentes en su preparación.

Finalmente, a partir de los conceptos propuestos por Erol et al. (2016), se sugiere la creación de un "**E**spacio de **I**nnovación en **I**ngeniería **5.0**" (Exl^{2}50). Este espacio pretende hacer tangible la visión abstracta de la Industria 5.0 mediante un enfoque de Fábrica de Aprendizaje, combinado con el Aprendizaje Basado en Escenarios.

Este entorno académico no se concibe como un simple showroom de tecnologías, ni como un laboratorio de informática, sino como un espacio diseñado para simular de manera generalizable la práctica empresarial común a cualquier tipo de industria o servicio, permitiendo escalar el uso de tecnologías según sea necesario, siempre sobre la base de un funcionamiento adecuado de los procesos.

10- Bibliografía

Albrieu, R., Basco, A. I., Brest López, C., de Azevedo, B., Peirano, F., Rapetti, M., & Vienni, G. (2019). *Travesía 4.0 hacia la transformación industrial argentina BID INTAL*. Nota técnica del BID; 1672.

Alves, J. M. (2020). *A indústria 4.0 e o desafio sociodemográfico: Propostas para colocar o fator humano no centro da produção Engenharia e Gestão Industrial*. Univerdade Beira Interior.

Berman, S. J. (2012). Digital transformation: Opportunities to create new business models. *Strategy and Leadership*, *40*(2), 16–24. https://doi.org/10.1108/10878571211209314

Bongomin, O., Gilibrays Ocen, G., Oyondi Nganyi, E., Musinguzi, A., & Omara, T. (2020). Exponential Disruptive Technologies and the Required Skills of Industry 4.0. In *Journal of Engineering (United Kingdom)* (Vol. 2020). Hindawi Limited. https://doi.org/10.1155/2020/4280156

Breque, M., De Nul, L., & Petridis, A. (2021). *Industry 5.0 Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry*. https://doi.org/10.2777/308407

Carro Suárez, J., & Sarmiento Paredes, S. (2022). El factor humano y su rol en la transición a Industria 5.0: una revisión sistemática y perspectivas futuras. *Entreciencias: Diálogos En La Sociedad Del Conocimiento*, *10*(24). https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2022.24.81727

Demir, K. A., Döven, G., & Sezen, B. (2019). Industry 5.0 and Human-Robot Co-working. *Procedia Computer Science*, *158*, 688–695. https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.104

ElFar, O. A., Chang, C. K., Leong, H. Y., Peter, A. P., Chew, K. W., & Show, P. L. (2021). Prospects of Industry 5.0 in algae: Customization of production and new advance technology for clean bioenergy generation. *Energy Conversion and Management: X*, *10*. https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2020.100048

Emmanouilidis, C., Pistofidis, P., Bertoncelj, L., Katsouros, V., Fournaris, A., Koulamas, C., & Ruiz-Carcel, C. (2019). Enabling the human in the loop: Linked data and knowledge in industrial cyber-physical systems. *Annual Reviews in Control*, *47*, 249–265. https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2019.03.004

Erol, S., Jäger, A., Hold, P., Ott, K., & Sihn, W. (2016). Tangible Industry 4.0: A Scenario-Based Approach to Learning for the Future of Production. *Procedia CIRP*, *54*, 13–18. https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.162

Fantini, P., Pinzone, M., & Taisch, M. (2020). Placing the operator at the centre of Industry 4.0 design: Modelling and assessing human activities within cyber-physical systems. *Computers and Industrial Engineering*, *139*. https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.01.025

García Contreras, J. M., & Mendoza Hernández, L. E. (2023). The impact of Industry and Society 5.0 on education. *UNO Sapiens Boletín Científico de La Escuela Preparatoria No. 1*, *5*(10), 15–18. https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa1/issue/archivehttps://orcid.org/0000-0001-9082-3358correoelectrónico:eloisamh@uaeh.edu.mxFechadepublicación:05/01/2023

Giugliano, G., Laudante, E., Formati, F., & Buono, M. (2023). Approaches and Technologies for the Human-Centered Industry 5.0. *Proyecta56, an Industrial Design Journal*, *3*. https://doi.org/10.25267/p56-idj.2023.i3.05

González-Varona, J. M., López-Paredes, A., Poza, D., & Acebes, F. (2021). Building and development of an organizational competence for digital transformation in SMEs. *Journal of Industrial Engineering and Management*, *14*(1), 15–24. https://doi.org/10.3926/jiem.3279

Gotfredsen, S. (2016, June 15). *Bringing back the human touch: Industry 5.0 concept creating factories of the future*. Https://Www.Manmonthly.Com.Au/.

Hitachi-UTokyo Laboratory. (2020). *Society 5.0 A People-centric Super-smart Society*.

Kaasinen, E., Schmalfuß, F., Özturk, C., Aromaa, S., Boubekeur, M., Heilala, J., Heikkilä, P., Kuula, T., Liinasuo, M., Mach, S., Mehta, R., Petäjä, E., & Walter, T. (2020). Empowering and engaging industrial workers with Operator 4.0 solutions. *Computers and Industrial Engineering*, *139*. https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.01.052

Kadir, B. A., & Broberg, O. (2021). Human-centered design of work systems in the transition to industry 4.0. *Applied Ergonomics*, *92*. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2020.103334

Lopes Martínez, I., Cuesta Santos, A., Neumann, G., Günzel, M., Marrero Durán, P. S., Noya Domínguez, L., Martinez Pérez, E., Cruz Ruiz, A., Machado de Armas, D., & Diaz Pereira, D. (2021). La transformación del talento humano en el marco de la Industria 4.0. *REVISTA CUBANA DE TRANSFORMACIÓN DIGITAL* , *2*(2), 118–133. https://orcid.org/0000-0001-6921-2026

Lopes Martínez, I., Cuesta Santos, A., Vilalra Alonso, J., Fleitas Triana, M. S., Neumann, G., & Cruz Ruiz, A. (2022). CREANDO CAPACIDADES: HACIA LA INDUSTRIA 5.0 EN LA FORMACIÓN DE INGENIEROS INDUSTRIALES. *Revista Cubana de Administración Pública y Empresarial*, *6*(2). https://doi.org/10.5281/zenodo.6817718

Lu, Y., Adrados, J. S., Chand, S. S., & Wang, L. (2021). Humans Are Not Machines—Anthropocentric Human–Machine Symbiosis for Ultra-Flexible Smart Manufacturing. In *Engineering* (Vol. 7, Issue 6, pp. 734–737). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.eng.2020.09.018

Müller, J. (2020). *Enabling Technologies for Industry 5.0: results of a workshop with Europe's technology leaders.* https://doi.org/data.europa.eu/doi/10.2777/082634

Nahavandi, S. (2019). Industry 5.0-a human-centric solution. *Sustainability (Switzerland)*, *11*(16). https://doi.org/10.3390/su11164371

Ortega, A. (2019). *Sociedad 5.0: el concepto japonés para una sociedad superinteligente*. Real Instituto Elcano. https://www.realinstitutoelcano.org/analisis/sociedad-5-0-el-concepto-japones-para-una-sociedad-superinteligente/

Østergaard, E. (2018, October 1). *Industria 5.0: el toque humano vuelve a la manufactura*. Https://Www.Metalmecanica.Com/Es/Noticias/Industria-50-El-Toque-Humano-Vuelve-La-Manufactura.

Pacaux-Lemoine, M. P., Trentesaux, D., Zambrano Rey, G., & Millot, P. (2017). Designing intelligent manufacturing systems through Human-Machine Cooperation principles: A human-centered approach. *Computers and Industrial Engineering*, *111*, 581–595. https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.05.014

Peruzzini, M., Pellicciari, M., Bil, C., Stjepandić, J., & Wognum, N. (2018, July 3). Transdisciplinary engineering methods for social innovation of Industry 4.0. *25th ISPE Inc. International Conference on Transdisciplinary Engineering*.

Romero, D., Bernus, P., Noran, O., Stahre, J., & Berglund, Å. F. (2016). The operator 4.0: Human cyber-physical systems & adaptive automation towards human-automation symbiosis work systems. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, *488*, 677–686. https://doi.org/10.1007/978-3-319-51133-7_80

Romero, D., Mattsson, S., Wuest, T., Fast-Berglund, Å., Gorecky, D., & Stahre, J. (2018). *Digitalizing Occupational Health, Safety and Productivity for the Operator 4.0*. https://www.researchgate.net/publication/327230622

Romero, D., Stahre, J., Wuest, T., Noran, O., Bernus, P., Fast-Berglund, Å., & Gorecky, D. (2016). Towards an Operator 4.0 Typology: A Human-Centric Perspective on the Fourth Industrial Revolution Technologies. *CIE46 Proceedings*, 29–31. https://www.researchgate.net/publication/309609488

Salgues, B. (2018). *Society 5.0: industry of the future, technologies, methods and tools*. Wiley-ISTE.

Schwab, K. (2016a). *The Fourth Industrial Revolution*. World Economic Forum.

Schwab, K. (2016b, January 14). *The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond*. Weforum.Org/Agenda/2016/01/the-Fourth-Industrial-Revolution-What-It-Means-and-How-to-Respond/.

Deepa, S., & Seth, M. (2013). Do Soft Skills Matter?-Implications for Educators Based on Recruiters' Perspective. *IUP Journal of Soft Skills* , *7*(1), 7–20.

Taylor, M. P., Boxall, P., Chen, J. J. J., Xu, X., Liew, A., & Adeniji, A. (2020). Operator 4.0 or Maker 1.0? Exploring the implications of Industrie 4.0 for innovation, safety and quality of work in small economies and enterprises. *Computers and Industrial Engineering*, *139*. https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.10.047

Velásquez Hernández, A. F., & Echeverri Flórez, H. M. (2023). *Hacia la formación de ingenieros para la industria 5.0: desafíos y oportunidades*. 1–12. https://doi.org/10.26507/paper.2785

Walas Mateo, F. (2023). *Nuevos modelos de negocio en el paradigma Industria 5.0. Inteligencia Artificial y Aprendizaje Automático para optimizar procesos industriales*. Universidad Nacional de Lomas de Zamora.

Winter, J., Rönkkö, K., & Rissanen, M. (2014). Identifying organizational barriers - A case study of usability work when developing software in the automation industry. *Journal of Systems and Software*, *88*(1), 54–73. https://doi.org/10.1016/j.jss.2013.09.019

Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B., & Wang, L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, *61*, 530–535. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.10.006

"DESARROLLO DE HABILIDADES GERENCIALES PARA ESTUDIANTES DE INGENIERÍA INDUSTRIAL, INCORPORANDO EL USO DE SIMULACIÓN"

Miranda Fierro, Jaime & Naudy, Leal Wilhelm

Universidad San Sebastián, Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño, Santiago – Chile.
Jaime.miranda@uss.cl; Naudy.leal@uss.cl

RESUMEN

El campo de la ingeniería industrial se caracteriza por la integración de conocimientos técnicos y habilidades gerenciales para optimizar sistemas y procesos. En ese contexto, es fundamental que los estudiantes de esta disciplina adquieran habilidades que les permitan liderar equipos, tomar decisiones estratégicas de manera eficiente (Cárdenas, 2018). La incorporación de la realidad aumentada en el proceso educativo, ofrece una herramienta innovadora para potenciar el desarrollo de estas habilidades, ya que permite coordinar proyectos complejos, interactuar con diferentes departamentos y gestionar cambios en la organización. La realidad aumentada puede mejorar estas competencias al proporcionar entornos inmersivos y simulaciones realistas. El objetivo de esta investigación es Identificar brechas en habilidades gerenciales de los estudiantes de Ingeniería Civil Industrial de la Universidad San Sebastián, Chile; utilizando simulaciones con realidad aumentada. La metodología utilizada propone una investigación cuantitativa con diseño no experimental, con una población referida de 120 estudiantes en tres cohortes respectivas (1er, 3er y 5to año). La información será obtenida mediante el instrumento "Test De Habilidades Gerenciales para estudiantes de Ingeniería Civil Industrial USS" en base a (García-Lombardía et al., 2001). Estos aspectos, preparan a los estudiantes de manera más eficaz para enfrentar los retos del entorno profesional en el mercado del trabajo.

Palabras Claves: Habilidades Gerenciales, Simulación con realidad aumentada, Ingeniería Industrial, Estrategias de enseñanza, Mercado del trabajo.

ABSTRACT

The field of industrial engineering is characterised by the integration of technical knowledge and management skills to optimise systems and processes. In this context, it is essential that students in this discipline acquire skills that enable them to lead teams and make strategic decisions efficiently (Cárdenas, 2018). The incorporation of augmented reality in the educational process offers an innovative tool to enhance the development of these skills, as it allows them to coordinate complex projects, interact with different departments and manage changes in the organisation. Augmented reality can enhance these skills by providing immersive environments and realistic simulations. The objective of this research is to identify gaps in management skills of students of Civil Industrial Engineering at Universidad San Sebastián, Chile, using augmented reality simulations. The methodology used proposes a quantitative research with non-experimental design, with a population of 120 students in three respective cohorts (1st, 3rd and 5th year). The information will be obtained through the instrument 'Test De Habilidades Gerenciales para estudiantes de Ingeniería Civil Industrial USS' based on (García-Lombardía et al., 2001). These aspects prepare students more effectively to face the challenges of the professional environment in the labour market.

Keywords: Management Skills, Augmented Reality Simulation, Industrial Engineering, Teaching Strategies, Labour Market.

1. INTRODUCCIÓN

Si consideramos a la universidad como sinónimo de universalidad, pluralismo, integridad y totalidad, enmarcada en una visión amplia de la comunidad universitaria, esta incluye a una diversidad de individuos: estudiantes, académicos, profesionales, administrativos y egresados. Además, se vincula naturalmente con organizaciones que colaboran en los quehaceres institucionales, tales como empresas, organismos gubernamentales, centros de investigación y otras entidades relacionadas (Miranda Fierro, 2012). Esta asociación natural se fundamenta en la producción y difusión del conocimiento, así como en la crítica y reproducción de paradigmas insertos en una racionalidad específica. Esta racionalidad implica una forma particular de ser y estar en el mundo, de comprenderlo, conocerlo y transformarlo (Leff, 2000).

En el ámbito de la ingeniería industrial, la integración de conocimientos técnicos y habilidades gerenciales para optimizar sistemas y procesos es esencial en el perfil de egreso de los estudiantes. En este contexto, es crucial que los estudiantes adquieran competencias gerenciales, cómo técnicas, que les permitan liderar equipos, tomar decisiones estratégicas y gestionar recursos de manera eficiente (Cárdenas, 2018).

La incorporación de **realidad aumentada (RA)** y herramientas basadas en **inteligencia artificial (IA)** en el proceso educativo representa un avance significativo en el desarrollo de habilidades gerenciales para los estudiantes de ingeniería. Estas tecnologías permiten no solo una mayor inmersión, sino también la capacidad de replicar escenarios industriales complejos con un alto grado de realismo. En el caso de la RA, el uso de dispositivos móviles, tabletas y visores especializados permite a los estudiantes interactuar con simulaciones tridimensionales que facilitan la visualización de datos, la planificación estratégica y la optimización de procesos en tiempo real. Esto se traduce en una experiencia de aprendizaje altamente enriquecida, donde los estudiantes pueden coordinar proyectos, gestionar cambios organizacionales y trabajar de manera colaborativa en equipos multidisciplinarios.

Las **simulaciones basadas en RA** se construyen utilizando algoritmos de modelado 3D y entornos virtuales interactivos que permiten la integración de datos en tiempo real, lo que ofrece a los estudiantes un espacio controlado para practicar competencias clave como el liderazgo, la comunicación efectiva, la toma de decisiones y la resolución de problemas complejos (González, 2019). Estas simulaciones no solo replican desafíos típicos de la industria, sino que también permiten ajustar parámetros como niveles de dificultad, escenarios bajo presión y recursos limitados, emulando condiciones reales a las que se enfrentarán los estudiantes en su vida profesional.

Competencias desarrolladas mediante RA:

Liderazgo: La RA permite crear escenarios de simulación donde los estudiantes deben asumir el rol de líderes de equipos virtuales. A través de modelos jerárquicos simulados, deben tomar decisiones estratégicas y operativas en tiempo real, adaptándose a situaciones cambiantes del entorno (Mendoza, 2018). Por ejemplo, se pueden crear simulaciones de plantas de producción donde los líderes deben reconfigurar las líneas de producción ante imprevistos como fallos de maquinaria o demoras en la cadena de suministro.

Comunicación: Las herramientas de RA también permiten desarrollar habilidades de comunicación efectiva, mediante la práctica de presentaciones virtuales y reuniones interactivas. Los estudiantes pueden utilizar entornos virtuales para realizar simulaciones de reuniones ejecutivas o negociaciones comerciales, practicando así sus capacidades para presentar informes o discutir propuestas en tiempo real, lo que optimiza su capacidad para interactuar con diferentes departamentos o niveles organizacionales (Pérez, 2019).

Gestión del tiempo: En simulaciones con RA, es posible emular escenarios de alta presión en los que los estudiantes deben gestionar múltiples tareas simultáneamente, evaluando el uso eficiente de recursos temporales y materiales. Los entornos simulados pueden incluir cronogramas interactivos y gestión de proyectos, donde se simulan situaciones como retrasos en la entrega de materiales o conflictos en la asignación de recursos (Díaz, 2017). Estas experiencias mejoran las competencias en la gestión de tiempo y la priorización de tareas bajo condiciones estresantes.

Datos técnicos y tecnológicos de la RA aplicada a la educación:

- **Dispositivos**: Para las simulaciones se utilizan **visores de realidad aumentada** como **Microsoft HoloLens** o **Magic Leap**, capaces de superponer modelos virtuales

tridimensionales sobre el entorno físico. Además, el uso de **plataformas de simulación colaborativa** permite a los estudiantes y docentes interactuar en el mismo entorno virtual desde distintos puntos geográficos, facilitando la educación a distancia.

- **Software**: Programas como **Unity** o **Vuforia** permiten la creación de entornos inmersivos de RA que integran tanto gráficos 3D como datos dinámicos en tiempo real. Estas plataformas ofrecen la capacidad de personalizar simulaciones específicas para cada asignatura, incorporando variables técnicas como la optimización de procesos industriales, la gestión de inventarios o la toma de decisiones financieras.
- **Beneficios técnicos**: La RA no solo mejora el aprendizaje visual, sino que también ofrece la posibilidad de realizar ensayos sin riesgo, donde los estudiantes pueden cometer errores sin consecuencias reales, lo que acelera su curva de aprendizaje. Además, la retroalimentación inmediata proporcionada por la RA permite un análisis detallado del desempeño, comparando métricas clave como la eficiencia en la toma de decisiones, tiempos de reacción, y el uso adecuado de recursos.

El impacto de la RA en el desarrollo de estas habilidades gerenciales es profundo, ya que permite que los estudiantes simulen escenarios industriales de alto nivel antes de enfrentarse a situaciones reales en sus prácticas profesionales. La interacción con entornos simulados mejora sus competencias operativas y estratégicas, preparándolos para liderar proyectos en sectores como la manufactura, la logística y la gestión empresarial. Según López (2021), el uso de estas tecnologías incrementa la empleabilidad de los estudiantes, quienes adquieren experiencia práctica en situaciones que simulan problemas complejos del mundo real.

Objetivo de la investigación:

El propósito principal de esta investigación es identificar las brechas en las habilidades gerenciales de los estudiantes de Ingeniería Civil Industrial de la Universidad San Sebastián (Chile) utilizando simulaciones con RA para el diseño de actividades formativas específicas. El enfoque metodológico es cuantitativo, basado en un diseño no experimental de tipo descriptivo. La muestra se compone de 120 estudiantes distribuidos en tres cohortes (1er, 3er y 5to año). La información será recopilada a través del “Test de Habilidades Gerenciales para Estudiantes de Ingeniería Civil Industrial USS”, basado en el instrumento validado por García-Lombardía et al. (2001). Los datos serán procesados mediante técnicas estadísticas avanzadas para obtener un diagnóstico preciso de las competencias que requieren mayor atención.

2. METODOLOGÍA

2.1. Metodología de Trabajo

1. Enfoque Metodológico

El enfoque metodológico será cuantitativo, utilizando un diseño no experimental de tipo descriptivo. Este enfoque permitirá analizar las brechas en las habilidades gerenciales de los estudiantes y medir el impacto de las actividades de simulación como herramienta formativa.

2. Población y Muestra

Población objetivo: 120 estudiantes de Ingeniería Civil Industrial de la Universidad San Sebastián, divididos en tres cohortes: 1er, 3er y 5to año.

Muestra: Se trabajará con la totalidad de la población (120 estudiantes), por lo que no será necesario realizar un muestreo.

3. Instrumento de Recolección de Datos

El instrumento principal será el "Test de Habilidades Gerenciales para Estudiantes de Ingeniería Civil Industrial" adaptado del instrumento original de García-Lombardía et al. (2001). **(Anexo Nº1)** Este test evaluará habilidades clave como liderazgo, comunicación, toma de decisiones, gestión del tiempo, resolución de problemas y trabajo en equipo.

2.1.1 Etapas Metodológicas:

Etapa 1: Diagnóstico de Habilidades Gerenciales

Aplicación del Test: Se administrará el test de habilidades gerenciales a los estudiantes de las tres cohortes para obtener un diagnóstico inicial sobre las competencias gerenciales.

Análisis de Resultados: Los resultados serán procesados mediante técnicas de estadísticas descriptivas (medias, desviación estándar) para identificar las áreas que requieren mayor desarrollo. Se evaluarán las diferencias en habilidades entre los estudiantes de diferentes años y se desarrollarán talleres específicos para abordar las diferentes deficiencias en cada nivel.

Etapa 2: Diseño de Simulaciones

Creación de Escenarios Simulados: Se diseñarán escenarios de simulación basados en situaciones reales de la industria, que representen problemas típicos en la gestión de proyectos, toma de decisiones bajo presión, liderazgo y gestión de recursos. Cada simulación estará alineada con los resultados del diagnóstico inicial para abordar las brechas identificadas.

Personalización de Simulaciones por Nivel Académico: Las simulaciones se ajustarán según el nivel académico de los estudiantes. Para los estudiantes de primer año, las simulaciones se centrarán en tareas más simples, como la toma de decisiones básicas o la coordinación de pequeñas actividades, mientras que los estudiantes de quinto año enfrentarán problemas más complejos relacionados con la gestión de proyectos, negociación y resolución de conflictos en entornos simulados.

Etapa 3: Implementación de las Simulaciones

Realización de Talleres de Simulación: Los estudiantes participarán en talleres interactivos de simulación, donde se enfrentarán a escenarios diseñados para replicar situaciones laborales reales. Estos talleres constaran de cuatro partes:

Introducción Teórica: Explicación de los objetivos y conceptos a desarrollar en la simulación (liderazgo, toma de decisiones, etc.).

Simulación Práctica: Los estudiantes resolverán situaciones simuladas que emulan problemas organizacionales, como coordinar equipos, tomar decisiones bajo presión o gestionar recursos limitados.

Reflexión y Feedback: Al finalizar la simulación, se llevará a cabo una sesión de retroalimentación donde se discutirá el desempeño de los estudiantes, resaltando sus fortalezas y áreas a mejorar.

Interacción en Equipos: Los estudiantes trabajarán en grupos simulados, donde deberán coordinarse para resolver problemas. Cada miembro del grupo asumirá un rol gerencial diferente, permitiendo la práctica del liderazgo, trabajo en equipo y toma de decisiones en contextos controlados.

Etapa 4: Evaluación del Impacto de las Simulaciones

Reaplicación del Test de Habilidades Gerenciales: Después de completar las simulaciones, se aplicará nuevamente el test de habilidades gerenciales para medir el progreso de los estudiantes en relación con el diagnóstico inicial.

Análisis Comparativo: Los resultados obtenidos serán comparados con los del diagnóstico inicial para evaluar si las habilidades gerenciales han mejorado significativamente. Se utilizarán análisis estadísticos como el ANOVA o pruebas t para determinar si los cambios observados son estadísticamente significativos.

Evaluación Cualitativa: Además de los datos cuantitativos, se llevarán a cabo entrevistas y encuestas cualitativas para obtener la percepción de los estudiantes sobre la utilidad y efectividad de las simulaciones en el desarrollo de sus competencias gerenciales. Estas preguntas están incorporadas en el instrumento original para obtener datos de opinión.

Etapa 5: Ajustes y Optimización del Programa

Identificación de Brechas Persistentes: Tras la segunda aplicación del test, se analizarán las áreas en las que no se observaron mejoras significativas. Se ajustarán las simulaciones y los talleres en función de los resultados para abordar estas brechas de manera más eficaz.

Mejora Continua: Se generarán recomendaciones pedagógicas para perfeccionar la integración de simulaciones en el currículo de Ingeniería Civil Industrial y mejorar los contenidos de las actividades formativas futuras.

3. CONCLUSIONES

La integración de la realidad aumentada y las simulaciones avanzadas en el proceso educativo para la formación de ingenieros industriales proporciona una oportunidad única para optimizar el aprendizaje práctico y mejorar las habilidades gerenciales. Al identificar y cerrar brechas en estas competencias, los estudiantes estarán mejor preparados para enfrentar los retos del entorno profesional actual. Este enfoque educativo no solo transforma la manera en que los estudiantes interactúan con los contenidos académicos, sino que también mejora su preparación para asumir roles de liderazgo, mejorar la eficiencia operativa y enfrentar escenarios industriales complejos, lo que incrementa su valor competitivo en el mercado laboral.

4. REFERENCIAS

Leff, E. (2000). La epistemología ambiental. Siglo XXI Editores.

Miranda Fierro, J. (2012). Generación y transferencia de conocimiento científico desde la universidad al sistema político. Editorial Académica.

Cárdenas, P. (2018). La importancia de las habilidades gerenciales en la ingeniería industrial. Editorial Universitaria.

Díaz, F. (2017). Gestión del tiempo para ingenieros. Ediciones Técnicas.

Fernández, M. (2016). Prácticas profesionales y su impacto en la formación de ingenieros. Revista de Educación Superior, 24(3), 45-59.

Gómez, L. (2020). La mentoría en la formación de ingenieros industriales. Editorial Académica.

González, R. (2019). Liderazgo y comunicación en ingeniería industrial. Publicaciones Industriales.

Hernández, J. (2020). Resolución de problemas en ingeniería: un enfoque práctico. Ediciones Científicas.

López, S. (2021). Desarrollo profesional de ingenieros industriales. Revista de Gestión, 15(2), 60-75.

Martínez, A., & López, M. (2020). Seminarios de gestión y liderazgo para ingenieros. Editorial Universitaria.

Mendoza, C. (2018). Liderazgo efectivo en ingeniería industrial. Editorial Técnica.

Pérez, G. (2019). Comunicación efectiva en el ámbito industrial. Ediciones Profesionales.

Ramírez, T. (2017). Simulaciones empresariales en la formación de ingenieros. Publicaciones Educativas.

Rodríguez, V. (2021). Proyectos prácticos en ingeniería industrial. Ediciones Académicas.

Ruiz, E. (2016). Evaluación continua en la formación de ingenieros. Revista de Educación Técnica, 12(1), 30-42.

Sánchez, J. (2018). Trabajo en equipo en ingeniería industrial. Editorial Universitaria.

Vargas, D. (2019). Aprendizaje basado en proyectos para ingenieros. Publicaciones Técnicas.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer a la carrera de Ingeniería Civil Industrial U. San Sebastián, junto al hospital de Simulación Clínica USS con quienes nos encontramos trabajando colaborativamente en pro de este proyecto. También agradecer a la escuela de Diseño de la Facultad de ingeniería junto a su director Carlos Hinrichsen.

ANEXO N1

Test De Habilidades Gerenciales

Encuesta desarrollada por (García-Lombardía et al., 2001)

Nombre:

Fecha:

Último Nivel de estudios: 1er / 2do / 3er / 4to/ 5to Año

Realiza o Realizó Práctica Laboral u otra: SI / NO

Nota: Esta Encuesta y el uso de la información que ingrese; es solo con fines académicos e investigativos para la institución.

Test de Habilidades Gerenciales

Descripción	1	2	3	4	5
1.- Reconoce y aprovecha las oportunidades, los peligros y las fuerzas externas que aparecen en el contexto de la formación Universitaria (Ej: fondos concursables, proyectos colaborativos; iniciativas internas, becas).					
2.- Mira más allá de los límites de sus actividades académicas, comprende el impacto de sus acciones en otras personas / equipos y desarrolla cooperación intergrupal. (ej; Crear grupos de trabajo, da ideas a un grupo u otro dependiendo de la necesidad)					
3.- Utiliza los recursos del modo más idóneo, rápido, económico y eficaz para obtener los resultados deseados (ej; distribuye el tiempo adecuadamente entre distintas actividades, se asignan tareas a los miembros de un equipo).					
4.- Responde con prontitud y eficacia a las sugerencias y necesidades del profesor / grupo / compañero (ej; responde oportunamente a las consultas del profesor, cumple oportunamente con los criterios entregados en las evaluaciones)					
5.- Desarrolla y mantiene una amplia red de relaciones con compañeros y amigos dentro y fuera de la universidad (ej; se relaciona con el CCAA de su carrera, se relaciona con estudiantes de otras carreras, participa en grupos externos a la Universidad).					
6.- Consigue llegar a acuerdos que satisfacen los intereses de ambas partes. (Ej: profesor-estudiante; profesor-grupo de trabajo; dirección de carrera-estudiante).					

7.- Escucha y transmite ideas de manera efectiva, empleando tanto procedimientos formales como informales, y proporcionando datos concretos para respaldar sus observaciones y conclusiones					
8.- Asigna objetivos y tareas a las personas adecuadas para realizar el trabajo, y planifica su seguimiento (ej; planifica la ejecución de una tarea y asigna roles a sus compañeros de equipo).					
9.- Se preocupa de que los integrantes de su equipo dispongan de la capacidad de tomar decisiones y de los recursos necesarios para lograr sus objetivos (ej; delega actividades académicas asignadas a los grupos de trabajo, distribuyendo las cargas de trabajo de forma equitativa).					
10.- Ayuda a sus compañeros a descubrir sus áreas de mejora y a desarrollar sus habilidades y capacidades académicas (ej; participa como ayudante, tutor y/o partner, potencia las habilidades de sus compañeros)					
11.- Fomenta un ambiente de colaboración, comunicación y confianza entre los miembros de su equipo, y los estimula hacia el logro de los objetivos comunes.					
12.- Da sentido al trabajo de sus compañeros, animando, ilusionando y motivándoles a conseguir los objetivos que les propone (ej; se considera un líder participativo dentro de su grupo).					
13.- Sabe identificar con rapidez las causas de los problemas y los puntos clave de una situación.					
14.- Distingue y separa los factores relevantes de una situación y sabe cuantificar su importancia (ej; es capaz de priorizar el bien común versus los intereses personales).					
15.- Tiene capacidad de síntesis a la hora de tomar decisiones (ej; toma decisiones rápidamente teniendo como base la información disponible).					
16.- Muestra un comportamiento emprendedor, iniciando y empujando los cambios necesarios con tenacidad y autonomía personal.					
17.- Genera planteamientos y soluciones innovadoras y creativas a los problemas que se le presentan.					
18.- Ve las situaciones y los problemas desde su aspecto más favorable (optimista).					
19.- Mantiene un alto grado de atención ante uno o varios problemas durante un largo período de tiempo.					
20.- Controla sus emociones y actúa de manera apropiada ante distintas personas y situaciones.					

21.- Hace lo que se ha propuesto realizar, sin abandonar su propósito a pesar de la dificultad de llevarlo a cabo.					
22.- Prioriza sus objetivos, programando sus actividades de manera adecuada y ejecutándolas en el tiempo previsto.					
23.- Mantiene el equilibrio personal y emocional ante situaciones de especial tensión.					
24.- Afronta con valentía la toma de decisiones en situaciones de gran responsabilidad y alto riesgo.					
25.- Muestra un comportamiento transparente y cumple sus promesas.					
26.- Da y exige lo que corresponde a cada uno sin discriminar, menospreciar o disminuir a las personas.					
27.- Se comporta de manera recta y honrada ante cualquier situación.					
28.- Evalúa con frecuencia y profundidad su propio comportamiento y la realidad que le circunda (ej; ante una mala calificación me pregunto qué hice mal o en qué falle y cómo puedo mejorar).					
29.- Conoce sus puntos fuertes y sus puntos débiles, tanto en el ámbito académico como personal.					
30.- Muestra flexibilidad para cambiar sus comportamientos, a fin de fortalecer sus puntos fuertes y superar sus puntos débiles.					

"DETERMINACIÓN DEL COSTO DE CAPITAL EN ECONOMÍAS EMERGENTES: UN ENFOQUE PARA LA ASIGNATURA PROYECTOS DE INGENIERÍA"

Gei, Anabella; García, Alejandra; Flores Leandro; Raponi, Leticia; Pepé, Analía

Universidad Nacional de Luján
anabellagei@gmail.com; alejandraivana.garcia@gmail.com; leandroflores6600@gmail.com; leticiaraponi@yahoo.com.ar; analia.pepe@gmail.com

RESUMEN

Los proyectos que formulan y evalúan los estudiantes en la asignatura Proyectos de Ingeniería de la UNLu les permiten integrar los conocimientos adquiridos a lo largo de sus carreras y se asemejan a proyectos nuevos y de creación de pequeñas y medianas empresas manufactureras nacionales. La evaluación económico-financiera de un proyecto de inversión productiva debe ser realizada en el contexto en el que el país se encuentra y la principal decisión sobre la evaluación gira en torno a la construcción de la tasa de corte. Este trabajo propone un enfoque innovador para que los estudiantes determinen la tasa de corte más apropiada utilizando diferentes modelos del Capital Asset Pricing Model (CAPM), a diferencia de utilizar una tasa de corte cuya construcción y supuestos para explicarla son proporcionados por el equipo docente. Los modelos ajustados de CAPM permiten una evaluación más realista en economías emergentes. Se detallan los modelos seleccionados de CAPM ajustado, el proceso de recolección de datos macroeconómicos, el cálculo de la tasa de corte ajustada en una serie temporal, su correlación con indicadores macroeconómicos. Este enfoque no solo fomenta el pensamiento crítico y la comprensión aplicada, sino que también integra el análisis de la coyuntura social y económica a la tarea de evaluación de proyectos, superando la mera aplicación mecánica de una metodología, permitiendo a los estudiantes tomar decisiones informadas basadas en la realidad económica actual.
Palabras Claves: Costo de capital, Modelos CAPM, Economías emergentes

ABSTRACT

The projects that students formulate and evaluate in the "Engineering Projects" course at UNLu allow them to integrate the knowledge acquired throughout their studies and resemble new projects for the creation of small and medium-sized national manufacturing enterprises. The economic and financial evaluation of a productive investment project must be carried out within the context in which the country is situated, and the main decision regarding the evaluation revolves around the construction of the discount rate. This work proposes an innovative approach for students to determine the most appropriate discount rate by using different models of the Capital Asset Pricing Model (CAPM), as opposed to using a discount rate whose construction and underlying assumptions are provided by the teaching staff. Adjusted CAPM models allow for a more realistic evaluation in emerging economies. The selected adjusted CAPM models, the process of collecting macroeconomic data, the calculation of the adjusted discount rate over a time series, and its correlation with macroeconomic indicators are detailed. This approach not only fosters critical thinking and applied understanding but also integrates the analysis of social and economic conditions into the project evaluation task, surpassing the mere mechanical application of a methodology, enabling students to make informed decisions based on the current economic reality.

Keywords: Cost of capital, CAPM models, Emerging economies

1. INTRODUCCIÓN

El costo de capital es un concepto fundamental en la evaluación de proyectos de inversión, ya que representa la tasa mínima de rendimiento que un proyecto debe generar para ser considerado viable desde el punto de vista financiero. En economías emergentes, la determinación del costo de capital adquiere una relevancia particular debido a la volatilidad económica, la mayor exposición a riesgos políticos y económicos, y las fluctuaciones en los mercados financieros internacionales que caracterizan a estos países.

El Capital Asset Pricing Model (CAPM) ha sido uno de los modelos más utilizados para calcular el costo de capital, al estimar la rentabilidad esperada de un activo en función de su riesgo. Sin embargo, la aplicación directa del CAPM en economías emergentes presenta desafíos, ya que este modelo se basa en supuestos que pueden no ajustarse completamente a las condiciones de estos mercados, como la suposición de mercados eficientes y el riesgo país constante.

En respuesta a estas limitaciones, se han desarrollado variantes ajustadas del CAPM que incorporan factores específicos de las economías emergentes, como el riesgo país, la inestabilidad macroeconómica, y la liquidez de los mercados. Estos modelos ajustados permiten una estimación más realista y contextualizada del costo de capital, tomando en cuenta las particularidades y riesgos adicionales presentes en estos entornos.

En los cursos tradicionales de Preparación y Evaluación de Proyectos, o de Administración financiera no se suele profundizar en la importancia crítica que tiene la determinación del costo de capital en los resultados de la viabilidad financiera de los proyectos. Además, rara vez se aborda cómo la realidad macroeconómica de un país específico influye en este parámetro. A menudo, en los trabajos de los estudiantes, la tasa de corte es simplemente un dato proporcionado por la cátedra, sin un análisis detallado de su construcción o de los factores que la afectan.

Este trabajo tiene como objetivo explorar y aplicar diferentes enfoques para la determinación del costo de capital en economías emergentes, con una orientación didáctica diseñado para la asignatura "Proyectos de Ingeniería" de la UNLu. Se propone un método innovador que permita a los estudiantes no solo calcular la tasa de corte de un proyecto de inversión, sino también comprender y evaluar los supuestos y factores que influyen en su construcción.

Además, esta aproximación es una excelente oportunidad para incluir aspectos socioeconómicos en currículos que suelen ser demasiado técnicos, mostrando cómo estas cuestiones se plasman, tarde o temprano, en parámetros numéricos. Este enfoque contribuirá a que los estudiantes y futuros ingenieros se involucren con la realidad económica del país, y comprendan cómo esta realidad influye en las decisiones de inversión, promoviendo así una visión crítica y adaptada a las condiciones actuales.

2. ENFOQUE PARA LA ASIGNATURA PROYECTOS DE INGENIERIA

El abordaje propuesto para este tema en la asignatura Proyectos de Ingeniería incluye una noticia disparadora. Hace algunas semanas varios medios periodísticos dieron cuenta que JP Morgan estima que, si Argentina recupera su estatus de mercado emergente, podría atraer hasta 1.000 millones de dólares en inversiones. Esto sería posible si el país mejora sus condiciones económicas, especialmente relajando el cepo cambiario. Actualmente, Argentina es considerada un mercado "Standalone" debido a las restricciones de capital que limitan el acceso de inversores internacionales. La posible reclasificación por MSCI en 2025 dependerá de reformas económicas que estabilicen el país (Infobae, 2024).

El esquema de la clase es el siguiente:

A) Disparador: Lectura de la Noticia

- **Actividad**: Comenzar la clase haciendo que los estudiantes lean la noticia de Infobae sobre la posibilidad de que Argentina vuelva a ser un mercado emergente.
- **Discusión**: Luego, abrir un breve debate sobre qué significa esta posible reclasificación y por qué podría atraer inversiones.

B) El CAPM y la evaluación financiera de proyectos

- **Concepto de Riesgo y Rentabilidad**: Explicar la relación entre riesgo y rentabilidad, ligando el concepto a lo que implica invertir en un mercado emergente.

- **Fórmula del CAPM**: Desglosar la fórmula del CAPM, explicando cada componente con ejemplos sencillos.
- **Aplicación del CAPM en el Contexto Argentino**: Mostrar cómo el CAPM se ajusta en un país como Argentina, considerando su riesgo país y otras variables locales.

C) Calificadoras de Riesgo y Clasificación de Mercados

- **Explicación de las Categorías**: Describir las categorías de mercados (Desarrollados, Emergentes, Frontera y Standalone).
- **Caso de Argentina**: Explicar cómo Argentina pasó de ser un mercado emergente a uno standalone, y las implicancias de esto para los inversores.
- **Impacto de la Reclasificación**: Relacionar con la noticia, explicando cómo un cambio en la clasificación podría afectar la inversión extranjera y la economía local.

D) Análisis Crítico y Validación de Datos

- **Discusión sobre Inversión en Contextos Adversos**: Explicar por qué, a pesar de tasas de corte elevadas, sigue habiendo inversión en Argentina, quienes son los posibles inversores.
- **Fuentes de Validación**: Mostrar cómo se puede validar la existencia de inversión a través de indicadores como la Formación Bruta de Capital Fijo (FBCF), Inversión extranjera Directa (IED) y otras fuentes.
- **Actividad de Investigación**: Asignar una tarea donde los estudiantes busquen y analicen datos sobre la inversión en Argentina.

E) Cierre y Reflexión

- **Resumir los Puntos Clave**: Recapitular la importancia de entender la relación entre riesgo, rentabilidad, y clasificación de mercados.
- **Discusiones**: Invitar a los estudiantes a reflexionar sobre cómo la teoría aprendida les ayuda a entender mejor las noticias económicas y su impacto real en la evaluación de proyectos.

Este enfoque integrará teoría y práctica, ayudando a los estudiantes a conectar conceptos abstractos con eventos concretos en la economía argentina.

1. La evaluación de proyectos y el modelo CAPM

La evaluación económica y financiera de proyectos nuevos tiene como objetivo determinar si es conveniente invertir en un proyecto, o priorizar entre varios proyectos aquellos que resulten más beneficiosos para la organización, y así decidir dónde destinar los recursos de la empresa, para ello se suelen utilizar las mismas herramientas que para la valuación. En los casos de nuevos proyectos, las inversiones pueden provenir, de reemplazos de equipos, de actividades de investigación y desarrollo, entre otras razones, y para tomar la decisión de aceptar o rechazar una determinada opción, existen criterios que se fundan en el análisis técnico del flujo estimado de fondos (Narváez, 2006).

Se han desarrollado varios métodos para estimar la tasa de descuento en la evaluación de proyectos. La tasa de descuento representa el costo de oportunidad de los fondos invertidos y se utiliza para calcular el valor presente de los flujos de efectivo futuros y puede ser estimada mediante el Costo Promedio Ponderado de Capital (WACC, por sus siglas en inglés). Este método utiliza el promedio ponderado de las tasas de rendimiento requeridas por los proveedores de capital (accionistas y acreedores) de una empresa, es decir el costo de capital propio y el costo de endeudarse. La tasa de descuento se calcula ponderando las tasas de rendimiento de cada fuente de financiamiento (acciones, deuda o ambas) según su participación en la estructura de capital de la empresa. La elección del método y la tasa de descuento adecuada dependen del contexto específico y pueden variar según las circunstancias individuales. Además, la estimación de la tasa de descuento es un ejercicio subjetivo y requiere cierto grado de juicio y análisis por parte de los evaluadores o analistas financieros. El Capital Asset Pricing Model (CAPM) es un modelo ampliamente utilizado en finanzas para calcular el costo de capital propio de una inversión. Este modelo fue inicialmente desarrollado por Markowitz en 1958, y formalizado y analizado en la década de 1960 por el economista William F. Sharpe y ha sido muy utilizado desde entonces a pesar de sus limitaciones (Milanessi, 2004)

La lógica que subyace en el CAPM se basa en la idea de que los inversores demandan una compensación por asumir riesgos que no pueden ser eliminados a través de la diversificación, teoría de la aversión al riesgo.

El CAPM es una herramienta que nos ayuda a estimar cuál debería ser la rentabilidad de una inversión considerando el riesgo que conlleva. En este modelo la rentabilidad esperada (costo de capital) es la suma de dos componentes:

- **Tasa libre de riesgo**: Es el rendimiento que obtendrían en una inversión sin riesgo, como en un bono del gobierno, esto es apenas mejor que dejar el dinero en una caja fuerte: seguro, pero con una ganancia muy baja.
- **Prima de riesgo del mercado**: Esta es la recompensa adicional que esperan los inversores por tomar más riesgo al invertir en el mercado en lugar de hacerlo en una alternativa más segura. Esta prima es afectada a su vez por un factor, el β (beta) que es una medida de cuán riesgosa es la inversión en comparación con el mercado en general. Si β es 1, el activo tiene el mismo riesgo que el mercado. Si es mayor que 1, es más riesgoso; si es menor que 1, es menos riesgoso.

$$\mathrm{K}e = Rf + \beta(Rm - Rf) \quad (1)$$

donde: $\mathrm{K}e$: costo del capital propio o rentabilidad esperada; Rf: prima libre de riesgo; β: sensibilidad del negocio al riesgo; Rm: prima de riesgo del mercado (sector). Uno de los principales desafíos radica en la cuantificación de estas variables, ya que el grado de aproximación al ideal teórico dependerá de las características del mercado financiero en cuestión.

En definitiva, el CAPM es un modelo que ayuda a calcular la rentabilidad esperada de una inversión considerando tanto el riesgo sistemático (relacionado con el mercado en general) como el riesgo específico del mercado en que se invierte.

2. Calificadoras de Riesgo y Clasificación de Mercados

Las calificadoras de riesgo como Morgan Stanley Capital Investment (MSCI), Financial Times Stock Exchange y Russell Investments (FTSE Russell) y S&P Dow Jones Indices (S&P DJI), son instituciones que evalúan y clasifican los mercados financieros de diferentes países según su desarrollo económico, liquidez del mercado, y accesibilidad para los inversores.

Por ello estas calificadoras generalmente dividen los mercados en tres categorías principales:

Mercados Desarrollados (Developed Markets)

- ✓ Características: Son economías avanzadas, con mercados financieros altamente eficientes, regulaciones fuertes, y un alto nivel de transparencia. Ejemplos incluyen Estados Unidos, Japón, y Alemania.
- ✓ Accesibilidad: Los inversores internacionales tienen fácil acceso y confianza en estos mercados.

Mercados Emergentes (Emerging Markets)

- ✓ Características: Son economías en crecimiento que tienen un nivel de desarrollo económico y financiero menor que los mercados desarrollados. Suelen tener más riesgo y volatilidad, pero también ofrecen oportunidades de crecimiento significativas. Ejemplos incluyen Brasil, India, y México.
- ✓ Accesibilidad: Aunque son atractivos, los mercados emergentes pueden ser más complicados para los inversores debido a riesgos como inestabilidad política, inflación, o fluctuaciones cambiarias.

Mercados de Frontera (Frontier Markets)

- ✓ Características: Son economías más pequeñas y menos desarrolladas que los mercados emergentes. Tienen un riesgo aún mayor y menos liquidez, pero pueden ofrecer retornos potenciales elevados. Ejemplos incluyen países como Kenia, Vietnam, y Nigeria.
- ✓ Accesibilidad: Estos mercados son más difíciles de acceder para los inversores debido a problemas como infraestructura deficiente, regulaciones débiles, y menos transparencia.

Cuando los mercados no se ajustan a las clasificaciones estándar y tienen características únicas que los hacen menos accesibles y más riesgosos para los inversores, se los denomina Standalone. Se trata

de una categoría especial que se utiliza para describir mercados que, por diversas razones, no cumplen con los criterios mínimos para ser considerados emergentes o de frontera, pero que tampoco son lo suficientemente desarrollados como para ser incluidos en esas categorías.

La Argentina fue clasificada como mercado emergente durante varios años, lo que reflejaba su potencial de crecimiento y la oportunidad de inversión que representaba, a pesar de sus desafíos económicos. En los últimos años, debido a factores como la inestabilidad económica crónica, la imposición de controles de capital, alta inflación, y la dificultad para que los inversores internacionales puedan acceder y repatriar capital, Argentina fue reclasificada como un mercado standalone. Esto implica que, aunque todavía ofrece oportunidades de inversión, es considerado extremadamente riesgoso y difícil de operar para los inversores globales.

Es importante subrayar que estas clasificaciones son importantes porque guían las decisiones de inversión de fondos y grandes inversores globales. Cuando un país cambia de categoría, como ocurrió con Argentina, eso puede impactar en la cantidad de inversión extranjera que recibe, afectando la economía real.

3. Los indicadores macroeconómicos.

Como se mencionó antes, los ajustes que se introducen al modelo de valoración CAPM para mercados emergentes, en crisis y conformados por MiPyMEs buscan adaptar el enfoque original del CAPM a las características y desafíos únicos que presentan estos contextos. Estos ajustes se centran en incorporar primas por riesgo país, factores específicos del mercado local, características de las MiPyMEs y riesgos operativos.

Por tanto, debe plantearse como objetivo para este abordaje pedagógico del tema, identificar y caracterizar el panorama general y cómo la economía y las finanzas impactan en la evaluación de proyectos, guiar a los estudiantes dónde y cómo buscar indicadores clave, y fomentar el pensamiento crítico sobre la relevancia de estos indicadores y su impacto en la evaluación de sus proyectos finales.

Se identifican como indicadores relevantes:

- ✓ **Inflación**: Impacto en costos operativos y de financiamiento. Fuente: INDEC.
- ✓ **Tasa de Interés**: Influencia en el costo de financiamiento. Fuente: Banco Central de la República Argentina (BCRA).
- ✓ **Riesgo País**: Modela las posibilidades de incumplimiento financiero. El indicador de riesgo país más conocido es el EMBI, elaborado por una empresa calificadora de riesgo (JP Morgan) y tiene en cuenta la inflación, la evolución del PBI, la estabilidad jurídica, los riesgos de default, los niveles de corrupción, etc). Fuente: JP Morgan (EMBI).
- ✓ **Inversión extranjera directa (IED) y Confianza Empresarial**: Reflejan la disposición de capital extranjero para financiar el proyecto. Fuentes: BCRA y INDEC.
- ✓ **Formación bruta de capital fijo (FBCF)**: es una medida económica que representa el total de inversiones realizadas en activos fijos durante un período determinado. La FBCF es un componente clave del Producto Interno Bruto (PIB) y refleja la inversión en el stock de capital que contribuye al crecimiento económico. Fuente: INDEC

4. Modelos CAPM para países emergentes, de frontera y standalone.

El modelo CAPM original (1) parte del supuesto de que los mercados financieros son eficientes y que los inversores tienen acceso a información completa y gratuita. Sin embargo, esta suposición no se cumple en muchos países emergentes y en crisis, donde los mercados financieros y económicos son más pequeños y menos abiertos que en los países desarrollados. Esto puede dificultar la medición y el análisis de los datos financieros y económicos relevantes para la evaluación de proyectos. Además, los proyectos en países emergentes y en crisis a menudo están sujetos a mayor probabilidad de eventos políticos o regulatorios que pueden afectar la rentabilidad y la viabilidad de los proyectos debido a la mayor volatilidad y fuertes fluctuaciones que los afectan. Este tipo de riesgo no es tan común en los países desarrollados. Debe tenerse en cuenta, además, el hecho de que en un país emergente las empresas sean principalmente MiPyMEs y de capital cerrado donde aún, cuando en estos países se instalen políticas de fomento a este tipo de empresas, la evaluación de inversiones productivas puede complejizarse (Barrera, 2004).

En primer lugar, las MiPyMEs pueden tener menos acceso a financiamiento externo, lo que puede limitar su capacidad para llevar a cabo proyectos de mayor envergadura y afectar la calidad de los datos financieros disponibles para la evaluación de proyectos. La falta de información financiera detallada puede dificultar la estimación de los flujos de efectivo futuros del proyecto y, por lo tanto,

afectar la precisión de la evaluación de la rentabilidad. En segundo lugar, las MiPyMEs pueden tener una estructura de propiedad y gobernanza más compleja y menos estandarizada que las empresas de capital abierto, lo que puede dificultar la estimación de la tasa de descuento adecuada para el proyecto. Si la tasa de descuento se calcula incorrectamente, puede resultar en una subestimación o sobreestimación del VAN (Valor actual neto), lo que a su vez puede llevar a decisiones equivocadas sobre la rentabilidad. En tercer lugar, las MiPyMEs pueden tener una capacidad limitada para implementar medidas de gestión y mitigación de riesgos, que puede aumentar el nivel de incertidumbre asociado con la evaluación del proyecto. La falta de medidas de gestión de riesgos también puede dificultar la obtención de financiamiento externo, ya que los inversores y prestamistas pueden percibir un mayor nivel de riesgo asociado con el proyecto. Es importante tener en cuenta estas limitaciones al evaluar la viabilidad y rentabilidad de los proyectos en estos mercados (Padovan, 2021).

Todas estas particularidades de los mercados emergentes, en crisis y constituidos mayormente por MiPyMEs, han impulsado el estudio y desarrollo de varios modelos CAPM modificados (Pereiro y Galli, 2000). Los modelos CAPM modificados pretenden capturar las características específicas de estos mercados, como la falta de eficiencia en los mercados financieros, el riesgo político, el riesgo cambiario y el riesgo de liquidez. Estos modelos buscan proporcionar una mejor estimación del costo de capital, y a su vez mejorar la precisión de las decisiones financieras en la evaluación de proyectos. Algunos enfoques utilizados para ajustar el CAPM en países emergentes incluyen:

- ✓ Consideración de la prima por riesgo país: Se añade una prima adicional al costo de capital para reflejar los riesgos asociados con la economía y el entorno político del país en cuestión. Esta prima por riesgo país puede basarse en indicadores macroeconómicos, índices de riesgo país o eventos políticos relevantes.
- ✓ Inclusión de factores específicos del rubro del proyecto: Se toman en cuenta variables como la liquidez del mercado, la volatilidad local, la eficiencia de los mercados y las restricciones regulatorias. Estos factores pueden tener un impacto significativo en los rendimientos de los activos y, por lo tanto, se consideran al ajustar el modelo CAPM.

En cuanto a las MiPyMEs, también se enfrentan a desafíos particulares en términos de valoración y evaluación. Algunas consideraciones relevantes para la valoración de MiPyMEs son:

- Tamaño y perfil de riesgo: Debido a su tamaño más reducido y mayor exposición a riesgos operativos, se pueden aplicar ajustes para reflejar estos aspectos.
- Factores sectoriales: Las MiPyMEs suelen estar más concentradas en sectores específicos, por lo que se pueden incorporar factores sectoriales en la valoración para reflejar mejor las particularidades y riesgos propios de cada industria.
- Dificultad para diversificar como método de disminución del riesgo sistemático.

5. Modelos CAPM modificados o ajustados.

No existe consenso sobre cómo incorporar los mayores riesgos de los mercados emergentes en la valoración de activos. Según Sabal (2003), existen dos enfoques principales: el primero, defendido por "académicos", modela los riesgos explícitamente en los flujos de caja proyectados. El segundo, apoyado por "prácticos", agrega la prima de riesgo país directamente a la tasa de descuento.

A pesar de las múltiples propuestas académicas, el enfoque práctico, que introduce los riesgos de los mercados emergentes directamente en la tasa de descuento, parece ser el más utilizado, como lo demuestra la cantidad de trabajos publicados y consultas realizadas, por ejemplo, en las investigaciones de Fernández (2018).

En general, existen dos formas de incluir el riesgo propio de mercados emergentes en la tasa de descuento:

- ✓ Modelos aditivos: donde el riesgo país se suma a la tasa resultante del CAPM estándar.
- ✓ Modelos con factores ajustados: donde el riesgo país se incorpora como un factor que modifica el riesgo sectorial.

Sin embargo, estos modelos pueden llevar a resultados extremos en situaciones de crisis, elevando el costo de capital a niveles irracionales (Gnecco, 2011). Fornero (2001) y otros autores han cuestionado estos modelos, proponiendo ajustes o límites en la incidencia del riesgo país para evitar distorsiones.

Martinez (2013) argumenta que, en situaciones de crisis, no se justifica agregar una prima de riesgo país adicional, ya que puede sobrestimar el riesgo para los inversores locales. En el extremo, algunos autores, como Barrera (2004), sugieren que para los empresarios locales que no tienen alternativas de inversión, el costo de capital inicial podría considerarse cero.

Finalmente, Vélez Pareja (2002) propone métodos subjetivos para considerar el riesgo total, utilizando calibradores que ayuden a los inversionistas a definir su propia valoración del riesgo. En mercados emergentes y en crisis, donde predominan las MiPyMEs de capital cerrado, es necesario hacer ajustes adicionales para considerar la falta de diversificación de los propietarios, las diferencias de riesgo entre empresas de distintos tamaños, la falta de liquidez y la posición de control del accionista mayoritario (Jaunarena, 2008).

El estado del arte de los modelos de valoración CAPM ajustados para mercados emergentes, en crisis y conformados por MiPyMEs se basa en adaptar el enfoque tradicional del CAPM a las características y desafíos únicos que presentan estos contextos. Los ajustes se centran en incorporar primas por riesgo país, factores específicos del mercado local, características de las MiPyMEs y riesgos operativos.

6. Los modelos CAPM ajustados seleccionados.

6.1 Metodología

De la revisión bibliográfica se seleccionaron (principalmente por la disponibilidad de series históricas de los datos), dos modelos que utilizan el riesgo país para ajustar, uno en forma aditiva y el otro como factor, un modelo que ajusta por inflación y se corrió el modelo CAPM con datos locales.

Para comparar el comportamiento de estos modelos se tomó como referencia el valor de CAPM con los datos de un mercado desarrollado como EEUU.

Para ello se tomaron series históricas (2014-2023) de promedios anuales de rendimiento de los bonos del Tesoro T-Bonds 10 (bonos a 10 años). Los T-Bonds no defaultearon nunca en su historia, tienen un período de madurez similar a los proyectos de ingeniería y son la base de comparación del riesgo país. Para la prima de mercado se consideró el rendimiento promedio del índice S&P 500. El S&P 500 (Standard & Poor's 500) es uno de los índices bursátiles más importantes y ampliamente seguidos del mundo. Este índice incluye a 500 de las empresas más grandes y representativas de Estados Unidos, abarcando diversas industrias como tecnología, finanzas, salud, energía, y bienes de consumo.

6.1.1 Modelo 1: CAPM con datos locales

Para ello se consideró como tasa libre de riesgo la tasa BADLAR por su equivalencia con la tasa LIBOR. La tasa de los títulos públicos de cualquier país emergente no representa un rendimiento libre de riesgo, puesto que incluye entre otros el denominado riesgo soberano, de default, de reinversión, y de inflación. Se tomó una serie histórica de sus rendimientos promedio anuales entre 2014 y 2023.

Gnecco (2012) establece que “el coeficiente beta raramente se observa fuera del rango 0,90 a 2,00.” Se adoptó ese criterio para calcular un Ke mínimo (con Beta 0,9) y uno máximo (con Beta 2). Sin embargo, para presentar los resultados se consideró un coeficiente beta promedio de 1,45 para todos los modelos porque no influye en la comparación de los resultados que arrojan.

Para estudiar la prima de riesgo del mercado (Rm) se consideró una serie histórica entre 2014 y 2023 del rendimiento del Mercado de Valores de Buenos Aires (MERVAL). El MERVAL es el principal índice bursátil de Argentina. Mide el desempeño de un conjunto de acciones que cotizan en la Bolsa de Comercio de Buenos Aires. Este índice incluye a las empresas más grandes y con alta liquidez del país, y su cálculo se basa en la capitalización bursátil de las compañías, ponderada por el número de acciones que circulan en el mercado. Se consideraron los promedios anuales para suavizar eventos, no obstante, la serie refleja la alta volatilidad del mercado argentino, con años de rendimientos extremadamente positivos y otros con caídas significativas, influenciados por factores como la inflación, las políticas económicas, y la situación macroeconómica del país.

6.1.2 Modelo 2: CAPM ajustado por Riesgo país aditivo.

Como ya se mencionó en la revisión bibliográfica existen varias maneras de considerar el Riesgo país en el cálculo de Ke. En este caso se toma un modelo aditivo donde se incorpora el término $\boldsymbol{\lambda}$*EMBI siendo $\boldsymbol{\lambda}$ un coeficiente que trata de modelar cuan expuesto está el proyecto al riesgo país. Para proyectos radicados en Argentina, y cuya producción es para consumo nacional el coeficiente toma valor 1 (totalmente expuestos al Riesgo país)

$$\mathrm{K}e = Rf + \beta\,(Rm - Rf) + \boldsymbol{\lambda} * \mathrm{EMBI}/100 \quad (2)$$

En este modelo, los datos de Rf y Rm corresponden a las primas de un país de economía estable, de capitales abiertos y con información sólida y sistemática. De esta manera no se duplica el riesgo por la coyuntura en los otros términos de la ecuación. Por tanto, Rf se considerará el rendimiento promedio de la última década de los bonos de la Reserva Federal de EEUU, TBonds-10.
Para correr el modelo en el período de tiempo determinado para este trabajo (2014-2023) se tomó el promedio anual informado en la página web de JP Morgan.

6.1.3 Modelo 3: CAPM ajustado por Riesgo país, enfoque en Beta

$$Ke = Rf + \beta^{*}(1+\text{EMBI}/100000)\ ^{*}(Rm - Rf) \quad (3)$$

Este modelo trabaja a partir de la aplicación directa de las cifras del EMBI+, indicador ampliamente difundido y de fácil acceso, sobre la prima por riesgo de mercado. Pero se aplica el EMBI+ como porcentual de incremento sobre la prima por riesgo de mercado, no como puntos adicionales a la tasa.

6.1.4 Modelo 4: CAPM ajustado por factor de incremento porcentual de Rf argentino respecto al Rf de EEUU

En este modelo se ajusta la prima de mercado para considerar la diferencia de tasas de negocio de mínimo riesgo de Argentina (BADLAR) respecto a las de EEUU (T-Bonds 10)

$$Ke = Rf + \beta\ (Rm - Rf)\ ^{*}\ [(\text{Badlar-Tbonds})/\text{TBonds}] \quad (4)$$

6.1.5 Modelo 5: CAPM ajustado por inflación

Se debe tener en cuenta que el ke de EEUU estimado es una tasa nominal en dólares por lo que puede ser utilizada únicamente para actualizar flujo de fondos en dólares y en términos nominales, es decir contemplando inflación. También se pueden estimar los flujos en moneda local y convertirlos con tipo de cambio esperado a moneda extranjera. Si por el contrario se quiere valuar en la moneda local, es decir en pesos argentinos, es recomendable calcular la tasa con los parámetros antes descriptos obteniendo la tasa nominal en moneda extranjera y a través del diferencial de tasas de inflación convertirla a una tasa en pesos. Para poder calcular esta tasa se consideró una serie de la tasa de inflación anual de EEUU 2014-2023. Por otra parte, se considera una tasa de inflación anual de Argentina del mismo período, obtenida del INDEC. Una vez obtenidas las tasas de inflación se puede calcular la tasa en pesos a través de la siguiente fórmula:

$$Ke^{ARG} = (1 + Ke^{EEUU}) \times (1 + \pi^{ARG}) / (1 + \pi^{EEUU}) - 1 \quad (5)$$

6.2 Resultados de la aplicación de los modelos a Argentina

En la serie temporal analizada, se detectan 2 años en los que los valores se tornan negativos principalmente porque el rendimiento de mercado considerado a través del S&P 500 fueron negativos. Esto se explica por las siguientes razones:
En 2018, el S&P 500 cayó un **6.24%** en un año marcado por varios eventos clave:

1. **Guerra Comercial EE.UU.-China**: La intensificación de la guerra comercial entre Estados Unidos y China provocó incertidumbre en los mercados globales, afectando el comercio internacional y las perspectivas de crecimiento económico.
2. **Aumento de las Tasas de Interés**: La Reserva Federal aumentó las tasas de interés varias veces en 2018, lo que llevó a preocupaciones sobre el costo del financiamiento y el impacto en el crecimiento económico.
3. **Volatilidad del Mercado**: Hubo una mayor volatilidad hacia el final del año, particularmente en diciembre, debido a preocupaciones sobre el crecimiento económico global y la incertidumbre política en EE.UU., incluido el cierre parcial del gobierno.

El S&P 500 cayó un **19.44%** en 2022, lo que representó una de las mayores caídas anuales desde la crisis financiera de 2008. Los principales factores fueron:

1. **Inflación Alta**: La inflación en EE.UU. alcanzó niveles no vistos en décadas, lo que llevó a la Reserva Federal a aumentar las tasas de interés de manera agresiva para controlar los precios. Esto generó preocupaciones sobre una posible recesión.

2. **Guerra en Ucrania**: La invasión de Ucrania por parte de Rusia en febrero de 2022 provocó incertidumbre global, aumentó los precios de la energía y exacerbó las presiones inflacionarias.
3. **Mercados en Caída**: El aumento de las tasas de interés y el temor a una desaceleración económica mundial provocaron ventas masivas en los mercados de acciones, afectando a la mayoría de los sectores del S&P 500.

Ambos años reflejan cómo una combinación de factores macroeconómicos y geopolíticos puede afectar significativamente el rendimiento de los mercados bursátiles.
Por esa razón, para facilitar la comprensión del comportamiento de los modelos elegidos se eliminan estos dos años y los dos años de pandemia COVID 19 porque se consideran eventos de alcance mundial.

Se muestran en el gráfico siguiente los resultados de las modelizaciones realizadas con los modelos seleccionados.

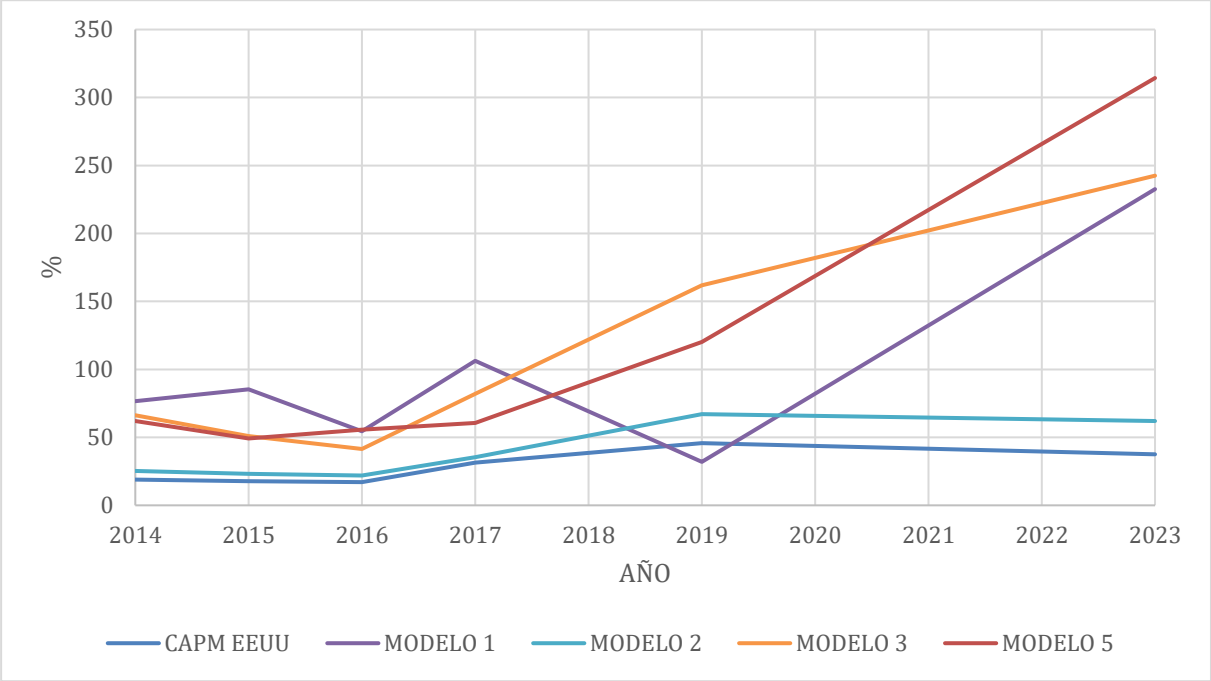


Figura 1 Corrida temporal de los modelos de CAPM y CAPM ajustados seleccionados - Elaboración propia

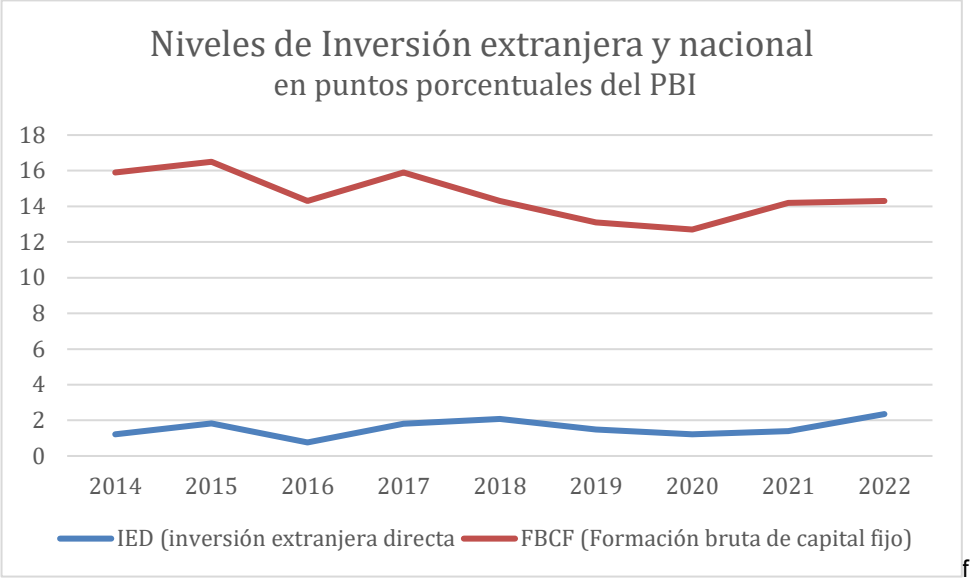
6.3 Análisis de los resultados de las modelizaciones y discusiones abiertas

	CAPM EEUU	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3	MODELO 4	MODELO 5
valor mínimo	17,08	31,99	21,94	41,46	43,18	49,19
valor máximo	45,76	23,59	67,08	242,50	476,81	314,32
PROMEDIO	28,07	97,88	39,20	107,50	188,10	110,33

Tabla 1: Extremos y promedio de cada modelo CAPM - Elaboración propia

.
La incidencia de variables macroeconómicas propias de mercados en crisis en la determinación de la tasa de corte tiene como efecto que elevan el costo de capital a valores que pierden toda racionalidad. Gnecco (Gnecco, 2011) plantea que una tasa de corte por encima de 80% carece de racionalidad. El criterio de racionalidad de las tasas ya fue esbozado por Fornero (Fornero, 2001) cuando encuentra que las correcciones dan “resultados no congruentes” en ambientes muy inflacionarios.

El análisis de los resultados indica que los modelos seleccionados determinan tasas de corte que desaconsejarían cualquier inversión. Sin embargo, si se analiza la serie de Inversión extranjera directa (IED) y la Formación bruta de Capital fijo el nivel de inversiones en Argentina se ha mantenido con relativa constancia en el período analizado.



f

Figura 2 Nivel de inversión extranjera y nacional en puntos porcentuales del PBI – elaboración propia

Los interrogantes que podrían plantearse a la clase luego de estos resultados son varios. Entre ellos:

- ✓ ¿por qué a pesar de que todas las condiciones económicas del país conducen a tasas de corte incluso irracionales el nivel de inversión se mantiene en términos de puntos del PBI.
- ✓ ¿Los inversores en Argentina no son tan adversos al riesgo?
- ✓ ¿Estos inversores son más neutrales al riesgo o no son tan exigentes con las rentabilidades esperadas?
- ✓ ¿Hay una combinación de estrategias empresariales, incentivos gubernamentales, y expectativas de mejora, que matizan el riesgo percibido?
- ✓ ¿Las empresas multinacionales invierten en Argentina aprovechando oportunidades específicas, como la disponibilidad de recursos naturales (petróleo, gas, litio, agricultura), un mercado con alta demanda insatisfecha o costos laborales relativamente bajos?
- ✓ ¿Las pymes y empresas nacionales invierten para mantener o expandir su cuota de mercado, aprovechando su conocimiento local, relaciones comerciales y la posibilidad de ajustarse mejor a la incertidumbre?
- ✓ ¿O tal vez no tengan alternativas seguras para invertir dentro del país y eso lleva a los empresarios a reinvertir sus utilidades?
- ✓ A pesar de la inestabilidad macroeconómica, Argentina tiene un mercado interno grande y dinámico, con sectores como el agroindustrial, el tecnológico y el energético que siguen atrayendo inversiones.
- ✓ ¿O será que la necesidad de productos y servicios básicos crea una demanda continua que puede justificar la inversión, incluso en un entorno de alto riesgo?

Todos estos interrogantes constituyen oportunidades de debate en el aula para acercar aún más a los estudiantes a la realidad en términos socioeconómicos e integrar el análisis de esta coyuntura a la tarea de evaluación de proyectos, superando la mera aplicación mecánica de una metodología, permitiéndoles tomar decisiones informadas.

3. CONCLUSIONES

Las empresas de capital cerrado tienen una participación sustancial en la economía argentina, sin embargo, la carencia de información de mercado impone restricciones para calcular su costo de capital a través del CAPM. Este problema se agrava por la alta volatilidad de las variables económicas y financieras de este mercado emergente y la escasa integración al mercado global. Es por ello que la

determinación de cada uno de los parámetros de los modelos presenta cierta incertidumbre y subjetividad cuando se intenta aplicarlo a una empresa cerrada en un mercado emergente.

El enfoque propuesto permite a los estudiantes aplicar diferentes modelos de CAPM ajustados para determinar la tasa de corte, fomentando un análisis más profundo y realista en economías emergentes como la de Argentina.

Al involucrar a los estudiantes en la construcción de la tasa de corte, se promueve el pensamiento crítico y se refuerza la capacidad de tomar decisiones informadas basadas en la coyuntura económica actual.

El enfoque permite que los estudiantes comprendan la importancia de analizar el contexto macroeconómico al evaluar proyectos, superando la simple aplicación mecánica de metodologías tradicionales.

La aplicación de estos modelos es especialmente relevante para proyectos relacionados con la creación de PyMEs manufactureras en Argentina, brindando a los estudiantes una experiencia formativa alineada con la realidad empresarial del país.

4. REFERENCIAS

Barrera, L. (2004). *La asignación de un costo al capital propio en el Costo promedio ponderado de capital (WACC)*. En *XXIV Jornadas de Administración Financiera*. Córdoba, Argentina.

Fernández, P., Pershin, V., & Fernández Acín, I. (2018). *Market Risk Premium and Risk-Free Rate used for 59 Countries in 2018: A Survey*. Disponible en SSRN: https://ssrn.com/abstract=3155709 o http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3155709.

Fornero, R. (2001). *Valuación de negocios: Estimación de la tasa de actualización*. Trabajo presentado en las XXI Jornadas Nacionales de Administración Financiera, Centro de Investigaciones de SADAF.

Gnecco, M. (2011). *Incidencia del riesgo país en la determinación de la tasa de corte para la evaluación de proyectos de inversión*. Trabajo presentado en las XXXI Jornadas Nacionales de Administración Financiera, Centro de Investigaciones de SADAF.

Infobae. (2024, agosto 20). *JP Morgan estima que podrían ingresar USD 1.000 millones si Argentina vuelve a la categoría de emergente*. Disponible en: https://www.infobae.com/economia/2024/08/20/jp-morgan-estima-que-podrian-ingresar-usd-1000-millones-si-argentina-vuelve-a-la-categoria-de-mercado-emergente

Jaunarena, B. (2012). *Alternativa para la medición de la prima de riesgo país en valuación de empresas sin cotización pública (Alternative for the measurement of country risk premium in valuation of closely held companies)*. Disponible en SSRN: https://ssrn.com/abstract=2052315.

Martínez, C., y otros. (2013). *Particularidades del modelo de fijación de precios de activos de capital (CAPM) en mercados emergentes: Some aspects about capital assets pricing model (CAPM) in emerging markets*. Análisis Financiero, (121), 37-47

Milanesi, G. S., Esandi, J. I., Rotstein, F., & Perotti, R. D. (2004). *CAMP: Evolución y compatibilidad con los mercados emergentes*. Trabajo presentado en las XXIV Jornadas Nacionales de Administración Financiera, Córdoba, Argentina. En RIDCA. Disponible en: http://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/4583

Narvaez, J. L. (2006). *Evaluación de las inversiones: de la teoría a la práctica. Parte 1*. Técnica Administrativa, 05(28). Disponible en http://www.cyta.com.ar/ta0504/v5n4a4.htm.

Padován, A. A. (2021). *Evaluación de proyectos de inversión en pandemia. Acercamiento a su problemática en las pymes argentinas*. X Congreso de Administración del Centro de la República. VI Congreso de Ciencias Económicas del Centro de la República. VII Encuentro Internacional de Administración del Centro de la República. Instituto Académico Pedagógico de Ciencias Sociales. Escuela de Ciencias Económicas. Secretaría de Internacionalización UNVM, Villa María.

Pereiro, L. y Galli, M. (2000). *La Determinación Del Costo Del Capital En La Valuación De Empresas De Capital Cerrado: Una Guía Práctica (The Cost of Capital in the Valuation of Closely-Held Businesses: A Practical Guide)* . Disponible en: https://ssrn.com/abstract=1874158

Sabal, J. (2003). *The Discount Rate in Emerging Markets: A guide*. Department of Financial Management and Control, ESADE, Universitat Ramon Llull. Disponible en: https://typeset.io/pdf/the-discount-rate-in-emerging-markets-a-guide-3vwjfwh0qe.pdf

Vélez Pareja, I. (2002). Costo de capital para firmas no transadas en bolsa. Disponible en: http://www.redalyc.org/pdf/716/71602904.pdf.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer a la universidad pública argentina por la educación recibida y por permitirnos transmitir ese conocimiento a las futuras generaciones de ingenieros.

"POR QUÉ FORMAR EN EL SABER SER EN LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y CÓMO HACERLO"

Mendizabal, Federico; Vaquer, Alejandro; Crespo, Cristian; Rissetto, Miguel Ángel; Brignoli, Nicolás

Universidad de Morón
mendizabalf@yahoo.com.ar

RESUMEN

Los desarrollos e innovaciones científico/tecnológicos crecen a ritmo acelerado y muchos de ellos comienzan a interactuar con el medio ambiente antes que se promulguen y entren en vigor las leyes y las regulaciones que deben controlarlos. Al estar permitido lo no prohibido, la sociedad cada vez más queda en manos de los principios éticos de los ingenieros industriales y de otros profesionales que desarrollen e implementen las nuevas tecnologías. Consideramos que, para satisfacer esa demanda urgente de la sociedad, se debe implementar lo señalado en el libro Rojo del CONFEDI (Consejo Federal Decanos de Ingeniería): la formación de los ingenieros industriales no sólo debe incluir el saber conocer y el saber hacer sino también el saber ser. Se debe tener en cuenta que el saber conocer y el saber hacer se requieren para forman ingenieros que interactúen en forma adecuada con los objetos, la naturaleza y las personas, mientras que el saber ser engloba las actitudes y la ética que el ingeniero industrial debe poseer y desarrollar en su profesión. El objetivo de este trabajo es mostrar que es importante y urgente incluir al saber ser en la formación de los ingenieros industriales y explicar brevemente cómo hacerlo. La metodología empleada en este trabajo es cualitativa/explicativa. La conclusión: Es importante y urgente incluir el proceso de enseñanza/aprendizaje del saber ser en todas las asignaturas de la carrera ingeniería. Además, mostramos que no es tan complejo implementarlo, gracias a las aplicaciones de IA (Inteligencia artificial) gratuitas, que desde hace menos de dos años están disponibles en la web.

Palabras clave: Formar - Urgencia - Saber ser.

ABSTRACT

Scientific/technological developments and innovations are growing at a rapid pace and many of them begin to interact with the environment before the laws and regulations that should control them are enacted and come into force. As what is not prohibited is allowed, society is increasingly left in the hands of the ethical principles of industrial engineers and other professionals who develop and implement new technologies. We consider that, to satisfy this urgent demand of society, what is stated in the Red Book of CONFEDI (Federal Council of Deans of Engineering) must be implemented: the training of industrial engineers must not only include knowing how to know and knowing how to do, but also knowing how to be. It must be considered that knowing how to know and knowing how to do are required to train engineers who interact appropriately with objects, nature and people, while knowing how to be encompasses the attitudes and ethics that the industrial engineer must possess. and develop in your profession. The objective of this work is to show that it is important and urgent to include knowing how to be in the training of industrial engineers and to briefly explain how to do it. The methodology used in this work is qualitative/explanatory. The conclusion: It is important and urgent to include the teaching/learning process of knowing how to be in all subjects of the engineering career. We also show that it is not so complex to implement it, thanks to the free AI (Artificial Intelligence) applications, which have been available on the web for less than two years.

Keywords: Training - Urgency - Knowing how to be.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. El objetivo de este trabajo

Consiste en:

- Mostrar que actualmente varios de los problemas que inquietan a la sociedad están relacionados en forma directa o indirecta con la ingeniería industrial.
- Proponer qué se debería hacer para solucionar dichos problemas.

1.2. Problemas planteados por la sociedad que incumben a la ingeniería industrial

1.1.1. Los vacíos legales que generan los nuevos desarrollos tecnológicos

Los avances científicos y tecnológicos relacionados con la ingeniería, en general, son exponenciales y vertiginosos. Como muchos de ellos acontecen y se desarrollan antes que las leyes y los reglamentos que los deben regular y dado que la ley permite lo no prohibido, se generan vacíos legales que connotan riesgos que pueden ser significativos.

El observar que el mundo cambia demasiado rápido debido a un desarrollo tecnológico más veloz de lo que podemos manejar, sumado a desconocer las consecuencias que ellos generarán en nuestra salud y/o en el medio ambiente, tanto a mediano como a largo plazo y el percibirnos desprotegidos legalmente ante ellas incrementa una de las afecciones psicológicas propias de nuestro tiempo: la tecnofobia.

Según se la mire, la tecnofobia puede tratarse más de un miedo al desarrollo incontrolado de la tecnología, que a la tecnología en sí misma. Dependiendo del caso, el temor parece originarse no en la tecnología en sí, sino en la violación de los alcances y los límites de esa tecnología.

Por ejemplo, el miedo no radica en el cuchillo en sí (la tecnología) sino en cómo y para qué se lo utiliza.

Parte de la tecnofobia actual está fundada. La sociedad ya padeció (y padece) graves daños generados por desfasajes legales, tales como los efectos del humo del cigarrillo en los pulmones, la contaminación gaseosa y sonora que acompañó el desarrollo de la industria automotriz, los plásticos en los mares, etc.

Aunque se han atenuado muchas de esas negatividades (como aconteció con los ejemplos citados), la sociedad sigue preocupada. Teme que por la creciente competencia empresarial se introduzcan al mercado productos que causen daño en el mediano y largo plazo a las personas y/o al medio ambiente.

Por lo tanto, muchos sectores sociales perciben que los seres humanos y el planeta dependen cada vez más del sentido ético de los profesionales que interactúan con esos avances tecnológicos.

1.1.2. La formación actual de los ingenieros industriales

Los problemas antes planteados tienden a incrementarse más con el transcurso del tiempo. Si la formación de los nuevos ingenieros industriales se sigue limitando al saber conocer y al saber hacer, aumentarán los riesgos expresados y en un futuro estaríamos graduando profesionales que en vez de minimizar los problemas planteados los incrementarían.

Por eso, los nuevos ingenieros industriales deben estar formados en el sentido ético y ser capaces de:

- Estar alertas y analizar de modo crítico los avances tecnológicos y sus potenciales impactos.
- Tomar decisiones informadas, considerando tanto las necesidades del mercado como las implicancias en el medio ambiente y en la sociedad a corto, mediano y largo plazo.
- Trabajar en equipos multidisciplinarios y multiculturales, demostrando creatividad, resiliencia y disposición al aprendizaje continuo.

2. DESARROLLO

En este ítem presentaremos las soluciones a dichos problemas. En el ítem 3 (Anexo) se agregan referencias temáticas y citas para brindar mas detalles sobre lo señalado.

2.1. Propuesta

Consideramos que para solucionar los problemas planteados en el ítem 1, es necesario y urgente:

- Actualizar los planes de estudio de las carreras de ingeniería industrial de argentina, a fin de formar profesionales idóneos para resolverlos.
- Que dichas actualizaciones estén consensuadas por los decanos de ingeniería de la Argentina.
- Implementar esas actualizaciones a la brevedad.

En estas circunstancias, lo más adecuado es implementar lo ya debatido, aprobado y publicado en el Libro Rojo del CONFEDI (Consejo Federal de Decanos de Ingeniería de Argentina) (2018): la formación de los ingenieros no solo debe incluir al saber conocer y al saber hacer, sino también al saber ser

El saber conocer y saber hacer implican ser responsables con las cosas y la naturaleza (aplicando sustentabilidad) y desarrollar un adecuado trato interpersonal (esto implica comunicación, liderazgo, trabajo en equipo, motivación, resolución de conflictos, negociación, etc.).
de

En cambio, el saber ser incluye las actitudes con uno mismo y con los demás, la ética, la responsabilidad, el sentido crítico, la creatividad, el encontrar los propios potenciales, la resiliencia, etc.).

Por lo tanto, consideramos que el saber ser no se debe limitar a un tema de una asignatura, sino que debe estar incluido en todas las asignaturas de la carrera, pues como el saber ser de índole actitudinal, también facilita y mejora el proceso enseñanza/aprendizaje de todas las asignaturas.

Además, es importante tener en cuenta que incorporar al saber ser en los planes de estudio:
- No implica modificar la cantidad de asignaturas y/o los contenidos de las mismas, sino actualizar el cómo se dictan las asignaturas.
- Está avalada por. el CONFEDI en su Libro Rojo (2018).

2.2. Obstáculos

Sin embargo, y pese a su importancia, todavía no se ha implementado de modo suficiente la temática referida al saber ser en la formación de los ingenieros industriales. Ello se debe a varios motivos:

- El Decreto 1099 / 1984 del Poder Ejecutivo Nacional establece los códigos de ética profesional para agrimensura, arquitectura e ingeniería. Sin embargo, muchos no se dan cuenta que lo que establece resulta insuficiente para resolver los problemas planteados. En su “libro primero” sólo se limita a decir que “*es deber primordial de los profesionales respetar y hacer respetar todas las disposiciones legales y reglamentarias que incidan en actos de la profesión. Es también deber primordial de los profesionales velar por el ejercicio de la profesión.”*
- Los planes de estudio se basan en el saber conocer y saber hacer y son controlados por CONEAU (Comisión Nacional de Evaluación y Acreditación Universitaria) y otros organismos. Pero el proceso de evaluación y acreditación que realizan se refiere al saber ser sólo si la asignatura en cuestión está relacionada con una actuación profesional ética y responsable y/o con una actividad profesional de alto impacto social en el contexto global y local.
- Hasta hace poco tiempo, el saber ser parecía un tema importante pero no demasiado urgente.
- Algunos no tienen en cuenta el carácter formativo del saber ser en los estudiantes y en los profesionales.
- No tener claro qué es el saber ser y/o dónde y cuándo aplicarlo.
  Muchos confunden al saber ser con las habilidades interpersonales (mal llamadas actividades blandas) tales como, liderazgo, trabajo en equipo, motivación, negociación, etc. e ignoran y/o minimizan los principios éticos en que se basa el saber ser. Algunos piensan en forma errónea que el saber ser está relacionado con implantar ideologías.

- El libro Rojo incluye también el término formación por competencias y algunos tienes ciertas controversias sobre los alcances de ésta.
- En la mayoría de los casos, casi toda su implementación recaía en los directores de carrera y muchos de ellos no disponían de suficiente tiempo y/o presupuesto y/o colaboradores y/o especialistas).
- Los docentes carecían de medios prácticos que le ayudasen a definir cómo aplicar el saber ser en sus clases.

2.3. Implementación

La implementación del saber ser en la carrera de ingeniería industrial se podría resumir en estos pasos:

a- Definir en qué consiste el tema en general.
b- Adecuar dicho tema a lo particular (o sea a cada asignatura).
c- Ponerlo en marcha.
d- Hacerle el seguimiento y desarrollar las mejoras pertinentes.

Al respecto surgen estos comentarios:

- Un par de años atrás, realizar los dos primeros pasos insumía mucho tiempo y esfuerzo.
- Pero este camino se ha allanado en los últimos meses gracias los lanzamientos de aplicaciones de Inteligencia Artificial (IA), tales como Chat GP3, Gemini y Meta IA. En el ítem 3.1 informamos sobre el origen de estas aplicaciones.
- Consideramos que hoy en día no se deben considerar a estas aplicaciones como verdades absolutas, sino como una gran ayuda para abordar los temas que estamos tratando.

Por lo tanto, proponemos la siguiente secuencia para implementar el saber ser en la carrera de ingeniería industrial.

2.3.1. Paso 1: Capacitar a todos los docentes en el saber ser

Consiste en informar a todos los docentes respecto a qué es el saber ser, sus alcances y por qué se lo debe incluir en todas las asignaturas.

Se sugiere ofrecer dicha información mediante cursos (en forma sincrónica y/o asincrónica, presencial y/o virtual) y/o mediante artículos disponibles en las universidades y/o mediante un servicio de apoyo para consultas.

Al respecto debemos comentar que para no excedernos en la extensión exigida para de este trabajo, no hemos profundizado en el significado del saber ser, sino que optamos por mostrar fuentes referenciales.

- El ítem 3.2.1: muestra la estrecha relación del saber ser con el “ikigai”.
- El ítem 3.2,2: reproduce las definiciones sobre el saber ser que brinda la aplicación Gemini.
- El ítem 3.2.3: muestra la relación del saber ser con la inteligencia emocional.
- El ítem 3.2.4. muestra ejercicios para gimnasia mental según aplicación Meta AI.
- El ítem 3.2.5: presenta frases extraídas de distintos autores que hacen referencia al saber ser.

2.3.2. Paso 2: Incluir el saber ser en cada una de las asignaturas

Incorporar al saber ser en el dictado de cada asignatura es una tarea del responsable de ésta y debe ser consensuada con el director de la carrera.

Dado que muchos docentes pueden pensar que esta tarea es muy tediosa y/o que requiere mucho tiempo y/o cuenta con pocos marcos de referencia, proponemos que los docentes utilicen aplicaciones de IA, tales como Gemini, Chat GPT, y Meta AI, las cuales se lanzaron al mercado hace menos de 2 años, se van actualizando diariamente y están disponibles en forma gratuita en internet.

A modo de ejemplo en el ítem 3.3 se transcriben las respuestas de dos de esas aplicaciones a la consulta de cómo aplicar el saber ser en una asignatura de contenidos puramente racionales como es el Análisis Matemático.

2.3.3. Paso 3: Ajuste final

Compartir el resultado con el director de carrera (o quien/es este designe), para analizar cómo mejorar la propuesta y/o alinear y/o complementar con otras asignaturas.

2.3.4. Paso 4: Implementación y seguimiento

Actualizar los programas y planes de estudio y la metodología del proceso enseñanza/aprendizaje de todas las asignaturas e ir evaluando los resultados obtenidos.

2.3.5. Consideraciones para tener en cuenta con estas aplicaciones de IA

2.3.5.1. Actualizaciones constantes

Estas IA están en constante desarrollo y reciben actualizaciones regulares que pueden traer nuevas características y/o mejoras en el rendimiento.

2.3.5.2. Rigurosidad

En la actualidad y en general, estas aplicaciones nos responden lo consultado en forma adecuada. Sin embargo, a veces no son de extrema rigurosidad y/o carecen de excelencia, pero igualmente son una gran ayuda para encarar, desarrollar y presentar un tema en forma rápida. Ejemplificamos estos conceptos con estas tres analogías. La IA:

- Nos muestra rápidamente muy buenas perlas, pero a las perlas más exquisitas todavía las tenemos que encontrar los seres humanos (dentro o fuera de esa muestra).
- Es un vehículo que nos permite subir la montaña de modo rápido y sin esfuerzo y gozar allí de una buena vista, pero para llegar a la cúspide hay que recorrer a pie los últimos metros.
- Es un instrumento que facilita mucho la tarea al piloto, pero no reemplaza totalmente al piloto.

3. ANEXOS

3.1. Aplicaciones de Inteligencias Artificial (IA) propuestas

Para facilitar la incorporación del saber ser en las carreras de ingeniería proponemos tres aplicaciones que tienen una característica en común: sus lanzamientos han sido muy recientes y se actualizan constantemente por lo que día a día mejoran las respuestas cuando se las consulta.

En WIKIPEDIA (captado el 22/08/2024) se obtuvo la siguiente información sobre ellas.

- ***ChatGPT:*** *Aplicación de chatbot de IA desarrollada en 2022 por Open AI, especializada en el diálogo. El chatbot es un modelo de lenguaje ajustado con técnicas de aprendizaje tanto supervisadas como de refuerzo y compuesto por los modelos GPT-4o mini y GPT-4o de Open AI. Lenguaje de programación: Python. Lanzamiento inicial: 30/11/2022.*
- ***Gemini:*** *Conocido antes como Google Bard, es un bot conversacional de IA multimodal y generativa desarrollado por Google basado en la familia Gemini Pro, desarrollada como respuesta directa al auge de ChatGPT de OpenAI. Lanzamiento inicial: 21/03/2023 Autor: Google Desarrollador: Google Labs y Google DeepMind*
- ***Meta AI:*** *Empresa propiedad de Meta (anteriormente Facebook) Desarrolla tecnologías de IA y realidad aumentada .Meta AI se considera un laboratorio de investigación académica, centrado en generar conocimiento para la comunidad de IA (no confundir con equipo de Aprendizaje Automático Aplicado (AML) de Meta, que se centra en las aplicaciones prácticas de sus productos). Lanzamiento inicial: 15/09/2023 a nivel mundial y 23/7/ 2024 en argentina.*

3.2. Comentarios referidos al saber ser

3.2.1. El ikigai

El saber ser no es una idea nueva que se está probando y/o una moda, sino un posicionarse ante la vida que está muy vinculado con el ikigai, (y hasta se podría decir que son sinónimos).

Ikigai es un concepto filosófico originario de Japón (se cree que el período Heian, que abarcó de 794 a 1185). Se traduce literalmente como "razón de ser" y representa la intersección de cuatro elementos clave en la vida de una persona:

- Pasión: Aquello que nos apasiona y nos motiva intrínsecamente.
- Vocación: Nuestras habilidades naturales y talentos innatos.
- Misión: El impacto positivo que deseamos generar en el mundo.
- Profesión: La actividad que nos permite obtener un sustento económico.

Al converger estos cuatro elementos, se crea un sentido profundo de propósito y satisfacción en la vida.

Por eso, el ikigai no es crearse un personaje, sino una razón de vivir que guía nuestras acciones y decisiones.

Buscar el ikigai es un proceso introspectivo y por lo tanto enriquecedor. Algunas estrategias útiles son:
- La reflexión personal: Analizar experiencias pasadas, identificar patrones y valores fundamentales.
- La exploración de intereses: Probar nuevas actividades y desarrollar nuevas habilidades.
- La conexión con los demás: Interactuar con personas inspiradoras y buscar mentores.
- El desarrollo de la conciencia plena: Practicar mindfulness (también llamado atención o conciencia plena) para conectar con nuestros pensamientos y emociones.

El ikigai genera beneficios tales como:
- Mayor bienestar: Un sentido de propósito claro y positivo para los demás puede aumentar la felicidad y reducir el estrés.
- Aumento de la productividad: Cuando nos sentimos apasionados por lo que hacemos, somos más productivos y creativos.
- Fortalecimiento de las relaciones: Al conocer nuestro propósito, podemos establecer conexiones más significativas con los demás. Amar al prójimo como a uno mismo, pues si no me amo me autodestruyo y si no amo al otro entro en conflictos innecesarios.
- Mayor longevidad: Estudios sugieren que las personas con un fuerte sentido de propósito tienden a vivir más tiempo.
- Vivir una vida más plena, significativa y satisfactoria.

3.2.2. El saber ser y los ingenieros la aplicación Gemini (captado en la web el 03/08/2024)

3.2.2.1. Importancias del saber ser para los ingenieros

Al consultar a esta aplicación sobre el saber ser referido a los ingenieros nos respondió:

El "saber ser" es un componente esencial de la formación de un ingeniero completo. Al integrar estas habilidades en todas las etapas de la formación, las universidades pueden formar profesionales más preparados para enfrentar los desafíos del mundo laboral y contribuir al desarrollo de una sociedad más sostenible.

El "saber ser" va más allá de los conocimientos técnicos y habilidades específicas de una disciplina.

Representa el conjunto de competencias personales, sociales y emocionales que permiten a un individuo interactuar de manera efectiva con su entorno, resolver problemas complejos y alcanzar sus objetivos.

En el caso de los ingenieros, estas habilidades son cruciales para el éxito profesional y para contribuir al desarrollo de una sociedad más sostenible.

- *Trabajo en equipo multidisciplinario: Los proyectos de ingeniería suelen involucrar a profesionales de diversas áreas, (arquitectos, diseñadores, economistas, etc. La capacidad de trabajar en equipo, comunicarse de manera efectiva y resolver conflictos de manera constructiva es esencial para el éxito de estos proyectos.*

- *Liderazgo y gestión de proyectos: Los ingenieros a menudo asumen roles de liderazgo, ya sea gestionando equipos de trabajo o dirigiendo proyectos de gran envergadura. El liderazgo implica habilidades como la toma de decisiones, la motivación de equipos, la gestión del tiempo y la capacidad de adaptarse a cambios imprevistos.*
- *Ética profesional y responsabilidad social: Los ingenieros tienen una gran responsabilidad social, ya que sus decisiones pueden tener un impacto significativo en la sociedad y el medio ambiente. La ética profesional implica actuar con integridad, transparencia y responsabilidad, y considerar las consecuencias a largo plazo de sus acciones.*
- *Innovación y creatividad: La ingeniería es un campo en constante evolución, que requiere de profesionales capaces de pensar de manera creativa y encontrar soluciones innovadoras a problemas complejos. La creatividad se alimenta de la curiosidad, la apertura a nuevas ideas y la capacidad de conectar conceptos aparentemente dispares.*
- *Adaptabilidad y aprendizaje continuo: El mundo laboral es cada vez más dinámico y cambiante. Los ingenieros deben ser capaces de adaptarse a nuevas tecnologías, herramientas y métodos de trabajo. El aprendizaje continuo es esencial para mantenerse actualizado y competitivo.*

3.2.2.2. Cómo integrar el "saber ser" en la formación de ingenieros

Existen diversas estrategias para fomentar el desarrollo de las competencias del "saber ser" en los estudiantes de ingeniería:

- *Metodologías activas de aprendizaje: El aprendizaje basado en problemas, los proyectos colaborativos y los estudios de caso son excelentes herramientas para desarrollar habilidades como la resolución de problemas, la comunicación y el trabajo en equipo.*
- *Mentoría y tutoría: Conectar a los estudiantes con profesionales experimentados que puedan servir como modelos a seguir y brindar orientación personalizada.*
- *Programas de desarrollo de liderazgo: Ofrecer programas y talleres enfocados en el desarrollo de habilidades de liderazgo, como la comunicación efectiva, la toma de decisiones y la gestión de conflictos.*
- *Ética profesional: Incorporar la ética profesional en todas las asignaturas, a través de casos de estudio, debates y reflexiones sobre las implicaciones sociales y ambientales de las decisiones de ingeniería.*
- *Desarrollo de la creatividad: Fomentar la creatividad a través de actividades como el diseño de productos, la generación de ideas y la exploración de nuevas tecnologías.*
- *Inteligencia emocional: Incluir actividades que promuevan la autoconciencia, la empatía y la gestión de las emociones, como la meditación, el mindfulness y la inteligencia emocional.*

3.2.4. Ejemplos concretos de actividades que fomentan el "saber ser" en ingeniería

- *Simulaciones de proyectos reales: Crear escenarios de proyectos complejos donde los estudiantes deban trabajar en equipo para encontrar soluciones, tomar decisiones y presentar sus resultados.*
- *Visitas a empresas: Organizar visitas a empresas para que los estudiantes puedan observar cómo se aplican los conocimientos teóricos en la práctica y conocer las expectativas del mundo laboral.*
- *Concursos de innovación: Fomentar la creatividad y el espíritu emprendedor a través de concursos donde los estudiantes puedan presentar sus propias ideas y proyectos.*
- *Programas de voluntariado: Involucrar a los estudiantes en proyectos de voluntariado relacionados con la ingeniería, para que puedan aplicar sus conocimientos en beneficio de la comunidad.*

3.2.3. El saber ser y la inteligencia emocional

El saber ser que planteamos implica desarrollar las habilidades emocionales.

Se observa que en todo el mundo (y cada vez con mayor frecuencia) la tendencia a que se conformen grupos (presenciales y/o virtuales) en los cuales solo se escuchan entre ellos y confrontan con grupos diferentes sin profundizar las cosas que los unen y los separan y menos aún buscar la verdad.

Esta falencia de habilidades emocionales debilita el intercambio de ideas creativas durante la etapa de estudiante atenta contra el aprendizaje y por lo tanto, redundará en forma negativa en el intercambio de ideas que el mundo requiere de él respecto a su desempeño personal y profesional.

Al respecto Goleman (1997 p 15) afirma: *Las personas con habilidades emocionales bien desarrolladas también tienen más probabilidades de sentirse satisfechas y ser eficaces en la vida, y de dominar los hábitos mentales que favorecen su propia productividad; quienes no pueden poner cierto orden en su vida emocional libran batallas interiores que sabotean su capacidad de concentrarse en el trabajo y pensar con claridad*".

Goleman (1997 p 269) también señala que el desarrollo insuficiente de la inteligencia emocional se refleja en varios aspectos tales como: aislamiento, mal humor perdida de energía, infelicidad, miedos, nerviosismo, tristeza, depresión, actuar en forma irreflexiva, incapacidad para prestar atención, concentrarse, quedarse quietos, predisposición a mentir, exceso de charlatanería, actitud burlona, temperamento acalorado, y consumo de drogas.

3.2.4. Ejercicios para gimnasia mental según aplicación Meta AI https://www.meta.ai/ (captado el 03/08/2024)

Ejercitar la mente en las carreras de ingeniería, es un proceso continuo que requiere dedicación y práctica regular en el que se pueden implementar las siguientes estrategias:

a- Resolución de problemas: Practicar la resolución de problemas complejos y desafiantes para desarrollar el pensamiento crítico y la creatividad.

b- Aprendizaje continuo: Mantenerse actualizado con las últimas tendencias y avances en el campo de la ingeniería a través de cursos, talleres y lecturas.

c- Proyectos personales: Desarrollar proyectos personales que desafíen tus habilidades y conocimientos, fomentando la innovación y el pensamiento fuera de la caja.

d- Trabajo en equipo: Participar en proyectos en equipo para desarrollar habilidades de comunicación, colaboración y liderazgo.

e- Simulaciones y modelado: Utilizar herramientas de simulación y modelado para analizar y resolver problemas complejos, mejorando la comprensión y la toma de decisiones.

f- Análisis de casos: Estudiar casos de estudio de proyectos de ingeniería reales, analizando los desafíos, soluciones y resultados.

g- Participación en competencias: Participar en competencias de ingeniería para desafiar tus habilidades y conocer las de otros.

h- Mentoring: Buscar la guía de un mentor experimentado para obtener orientación y retroalimentación.

i- Aprendizaje activo: Participar en actividades de aprendizaje activo, como talleres, seminarios y conferencias.

j- Reflexión y autoevaluación: Reflexionar sobre tus propias fortalezas, debilidades y áreas de mejora, estableciendo metas y planes de acción.

3.2.5. Tratamiento de la temática relacionada con el saber ser por diferentes autores

Son muchos los textos que tratan el saber ser y su relación con lo tecnológico. A modo de ejemplo citamos los siguientes:

- Daniel Kahneman (2020) (p. 524) nos dice. *Ninguna cosa de la vida es tan importante como pensamos cuando pensamos en ella.*
- Camilo Cela Conde y Francisco Ayala (2018) (p. 9) nos dicen: *Ningún cerebro se comporta en forma moral. Quien lo hace es la persona que se sirve de él.*
- *Juan José Milano (2020) (p.119) dice: Vivir no es estar ni tener, es ser, y ser lo que se está llamado a ser.*

- Guillermo Jaim Etcheverry (1999) (p.171) dice: *Hasta la ciencia, cuando genera ideas poderosas sobre el mundo, depende más de la imaginación y de la visión del científico, que de los datos*
- María Clara Zamora (2017) (p 16) nos dice: *las cuestiones contextuales son las que permiten dar sentido individual y social a las producciones tecnológicas y son base de criterios que permiten juzgarlas desde distintos puntos de vista que en muchos casos son clave para la supervivencia, para asegurar condiciones de vida digna, o para lo que en Laudato sí es denominado "el cuidado de la casa común"*
- Albert Ellis (2018) (p 59) nos dice: *usted puede básicamente ayudarse a sí mismo con sus propios pensamientos, sentimientos y acciones.*

3.3. Ejemplo: Cómo aplicar del "Saber Ser" en la Enseñanza del Análisis Matemático

Se consultó a dos de las aplicaciones de IA antes mencionadas sobre cómo incluir el proceso de enseñanza aprendizaje del saber ser en una asignatura que sólo tiene componentes racionales (si tuviese componentes de índole emocional sería más intuitivo su resultado) y se obtuvieron las siguientes respuestas:

3.3.1. Mediante la aplicación GEMINI https://gemini.google.com/app?hl=es-MX (captado el 03/08/2024)

Se le consultó a esta aplicación sobre el tema y ella brindó tres versiones de respuestas. Se optó por una, y a ella se le tildó la opción de ampliar la extensión de la respuesta, dando el siguiente resultado:

Ampliando la aplicación del "Saber Ser" en la Enseñanza del Análisis Matemático nos dice: *integrar el "saber ser" en la enseñanza del análisis matemático va más allá de transmitir conocimientos teóricos. Se trata de crear un ambiente de aprendizaje donde los estudiantes se sientan motivados, comprometidos y capaces de desarrollar un pensamiento matemático crítico y autónomo".*

Además la aplicación brinda la siguiente información:

a. Estrategias adicionales y ejemplos:

a.1. Integrar el "saber ser" para fomentar la curiosidad:

- *Preguntas abiertas: En lugar de preguntas con respuestas únicas, plantear preguntas que inviten a la reflexión y a la exploración de diferentes enfoques. Por ejemplo, en lugar de preguntar "¿Cuál es la derivada de x^2?", preguntar "¿Qué significa la derivada en el contexto de una función cuadrática? ¿Cómo podemos interpretarla geométricamente?".*
- *Proyectos de investigación: Proponer proyectos que permitan a los estudiantes investigar temas específicos del análisis matemático, fomentar su autonomía y capacidad para buscar información.*

a.2. Utilizar recursos didácticos variados:

- *Videos educativos: Emplear videos que expliquen conceptos de manera visual y dinámica, como animaciones que muestran cómo se calculan límites o cómo se construyen las sumas de Riemann.*
- *Software matemático: Utilizar herramientas como GeoGebra, Mathematica o MATLAB para explorar gráficas de funciones, realizar simulaciones y resolver problemas de manera visual.*
- *Juegos y rompecabezas: Incorporar juegos y rompecabezas matemáticos que permitan a los estudiantes practicar conceptos de manera lúdica y entretenida.*

a.3. Promover la comunicación matemática:

- *Presentaciones orales: Pedir a los estudiantes exponer sus soluciones a problemas o investigaciones, fomentando su capacidad para comunicar las ideas matemáticas de modo claro y conciso.*
- *Foros de discusión: Crear espacios virtuales donde los estudiantes puedan intercambiar ideas, plantear dudas y discutir conceptos matemáticos.*

a.4. Conectar el análisis matemático con otras disciplinas:

- *Aplicaciones en física: Mostrar cómo los conceptos del análisis matemático se utilizan para modelar fenómenos físicos, como el movimiento de un objeto, el crecimiento de una población o la propagación del calor.*
- *Aplicaciones en economía: Explorar cómo las herramientas del análisis matemático se emplean para analizar datos económicos, optimizar procesos y tomar decisiones.*

a.5. Evaluación formativa:

- *Retroalimentación constante: Proporcionar a los estudiantes una retroalimentación detallada y constructiva sobre su trabajo, ayudándoles a identificar sus fortalezas y debilidades.*
- *Autoevaluación: Fomentar la autoevaluación para que los estudiantes tomen conciencia de su propio proceso de aprendizaje y se fijen metas de mejora.*

b. Ejemplo de una actividad integrada

- *Tema: El concepto de límite.*
- *Actividad: Los estudiantes trabajan en grupos para investigar diferentes aplicaciones del límite en la vida real. Cada grupo presenta sus hallazgos a la clase, utilizando presentaciones, videos o demostraciones prácticas. A continuación, se organiza un debate sobre las implicaciones del concepto de límite en diferentes campos.*
- *Habilidades desarrolladas: Investigación, comunicación, trabajo en equipo, pensamiento crítico, resolución de problemas.*

c. Conclusión

Enseñanza del análisis matemático, estamos preparando a los estudiantes no solo para resolver problemas matemáticos, sino también para enfrentar los desafíos del mundo real con una mente abierta, creativa y crítica.

d. Propuestas

Posibles preguntas para continuar la conversación:

- *¿Qué otras herramientas tecnológicas consideras útiles para la enseñanza del análisis matemático?*
- *¿Cómo podemos adaptar estas estrategias para estudiantes con diferentes estilos de aprendizaje?*
- *¿Cuál es el papel de la historia de las matemáticas en la enseñanza de esta disciplina?*

3.4.2. Mediante aplicación Chat GPT https://chatgpt.com/ (captado el 03/08/2024)

Esta aplicación respondió ante la misma pregunta

Enseñar el "saber ser" en la asignatura de Análisis Matemático para estudiantes de ingeniería implica no solo transmitir conocimientos técnicos, sino también cultivar habilidades personales y actitudes que fomenten una verdadera comprensión y apreciación de la matemática.

Aquí te presento algunas estrategias para integrar el "saber ser" en tu enseñanza:

a. Promover la autorreflexión y la autonomía

- *Autoevaluaciones: Incorpora autoevaluaciones regulares donde los estudiantes reflexionen sobre su progreso y áreas de mejora. Esto les ayuda a desarrollar una actitud crítica y autoconsciente.*
- *Establecimiento de metas: Anima a los estudiantes a establecer metas personales y académicas. Esto les da un sentido de propósito y les permite ver el análisis matemático como una herramienta para alcanzar sus objetivos.*

b. Fomentar la actitud de resolución de problemas

- *Aprendizaje basado en problemas: Utiliza casos prácticos y problemas abiertos que requieran creatividad y pensamiento crítico. Esto ayuda a los estudiantes a ver la matemática como una herramienta para resolver problemas reales.*
- *Desafíos y competencias: Organiza competencias y desafíos matemáticos que promuevan la colaboración y la innovación, reforzando la importancia del trabajo en equipo y la persistencia.*

c. Desarrollar habilidades de comunicación

- *Presentaciones: Pide a los estudiantes que presenten soluciones a problemas matemáticos y expliquen sus razonamientos. Esto mejora sus habilidades de comunicación y les ayuda a articular sus pensamientos de manera clara.*
- *Discusión en clase: Facilita discusiones en clase donde los estudiantes puedan compartir sus enfoques y soluciones, promoviendo un ambiente de aprendizaje colaborativo.*

d. Inculcar la Importancia del pensamiento crítico

- *Reflexión crítica: Anima a los estudiantes a cuestionar y analizar los métodos y soluciones propuestas, no solo a aceptarlas sin cuestionamiento.*
- *Errores como oportunidades de aprendizaje: Enseña a los estudiantes a ver los errores como oportunidades para aprender y mejorar, promoviendo una mentalidad de crecimiento.*

e. Integrar aspectos éticos y profesionales

- *Ética en el uso de la matemática: Discute casos en los que el uso de la matemática ha tenido implicaciones éticas importantes, como en la ingeniería y las decisiones tecnológicas.*
- *Responsabilidad profesional: Habla sobre la responsabilidad profesional en la aplicación de conocimientos matemáticos, destacando la importancia de la precisión y la integridad en su trabajo.*

f. . Conectar la matemática con la realidad profesional

- *Proyectos de ingeniería: Incluye proyectos que simulen situaciones del mundo real donde los estudiantes deban aplicar conceptos matemáticos. Esto les ayuda a entender la relevancia de lo que están aprendiendo.*
- *Testimonios de profesionales: Invita a ingenieros y matemáticos a hablar sobre cómo utilizan el análisis matemático en su trabajo diario, dando a los estudiantes una perspectiva práctica.*

g. Desarrollar la resiliencia y la persistencia

- *Superar dificultades: Crea un entorno donde se valore el esfuerzo y la perseverancia, y donde los estudiantes aprendan a enfrentarse a problemas difíciles sin desanimarse.*
- *Retroalimentación constructiva: Proporciona retroalimentación que no solo apunte a la corrección de errores, sino también a cómo superar desafíos y mejorar continuamente.*

Al integrar estas estrategias en tu enseñanza, estarás contribuyendo no solo a la formación técnica de los estudiantes en Análisis Matemático, sino también a su desarrollo personal y profesional, fomentando habilidades y actitudes esenciales para su éxito en la carrera de ingeniería.

4. REFERENCIAS

Aplicación de Inteligencia Artificial (IA): Chat GP3, https://chatgpt.com/ captada en la web el 3 de agosto 2024.

Aplicación de Inteligencia Artificial (IA) Gemini https://gemini.google.com/app?hl=es-MX captada en la web el 3 de agosto 2024.

Aplicación de Inteligencia Artificial (IA) Meta IA. https://www.meta.ai/ captada en la web el 03/08/2024

Cela Conde, Camilo y Ayala, Francisco. El cerebro moral (2018) Emse Edapp, SL y Editorial Salvat S.L. (p. 9).

Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI) (2018). Propuesta de estándares de segunda generación para la acreditación de carreras de ingeniería en la república argentina “LIBRO ROJO DE CONFEDI”. www.confedi.org.ar secretaria@confedi.org.ar © CONFEDI Universidad FASTA Ediciones, ingenieria@ufasta.edu.ar. Miembro de la Red de Editoriales de Universidades Privadas de la República Argentina, REUP. (octubre 2018).

Decreto 1099 / 1984 del Poder Ejecutivo Nacional (p.e.n.) sancionado el 06/04/1984, disponible en https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/decreto-1099-1984-198932.

Ellis, Albert. (2018). Ser feliz y vencer las preocupaciones. Ediciones Obelisco. (p 59).

Goleman, Daniel. (1997). La inteligencia emocional (por qué es más importante que el cociente intelectual), Javier Vergara Editor, Bs. As, (p. 15, 54 y 269).

Goleman Daniel, Boyatzis, McKee Anie. (2003) El líder resonante crea más. Plaza y Janés, Buenos Aires, Argentina. (p.22)

Kahneman, Daniel. (2020). Pensar rápido, pensar despacio. Editorial Debate (p. 524)

Jaim Etcheverry, Guillermo. (1999) La tragedia educativa. Fondo de Cultura Económica (p.171).

Milano, Juan José. (2020). La vocación humana del hombre (p.119).

WIKIPEDIA https://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia_en_espa%C3%B1ol (captado el 22/08/2024)

Zamora, María Clara. (2017). La enseñanza de la ingeniería y la educación tecnológica. Un desarrollo humano a la luz de Laudato sí. EDUCA (Editorial Universidad Católica Argentina) (p 16)

"LA EMPATÍA Y LAS COMPETENCIAS SOCIALES EN LA FORMACIÓN DEL INGENIERO INDUSTRIAL"

D´Onofrio, María Victoria; Morcela, Antonio

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata
vickyfi@fi.mdp.edu.ar; omorcela@fi.mdp.edu.ar

RESUMEN

En el marco de la formación integral en ingeniería, el CONFEDI destaca la importancia de las *soft skills* como ejes de desarrollo transversal de la carrera. Los ingenieros industriales enfrentan un gran desafío al gestionar proyectos y liderar organizaciones, lo que convierte a las competencias sociales, políticas y actitudinales en indispensables dentro su formación. Estudios previos han demostrado que en general los ingenieros suelen tener bajos niveles de competencias sociales, pero sus valores se pueden elevar reforzando el aumento de la empatía. En la formación del ingeniero industrial en la Universidad Nacional de Mar del Plata se trabaja para el desarrollo de diferentes competencias emocionales que el futuro profesional debe adquirir a lo largo de su estancia en la universidad. En el presente trabajo se evalúan ambas habilidades y su relación, en estudiantes del último año de la carrera, que recibieron formación específica en Inteligencia Emocional durante los tres últimos ciclos lectivos. Utilizando cuestionarios validados se evaluaron las competencias indicadas y se estudiaron las correlaciones existentes entre ellas, obteniendo puntos de encuentro que reflejan el grado de importancia que tienen las dinámicas de intervención específica en determinadas habilidades, para el desarrollo general de las competencias emocionales.

Palabras Claves: empatía, competencias sociales, ingeniería industrial, inteligencia emocional.

ABSTRACT

In the framework of comprehensive engineering training, CONFEDI highlights the importance of soft skills as axes of transversal development of the career. Industrial engineers face a great challenge when managing projects and leading organizations, which makes social, political and attitudinal skills indispensable in their training. Previous studies have shown that engineers generally tend to have low levels of social skills, but their values can be raised by reinforcing the increase in empathy. In the training of industrial engineers at the National University of Mar del Plata, work is done to develop different emotional skills that future professionals must acquire throughout their stay at the university. In this work, both skills and their relationship are evaluated in students in the last year of the degree, who received specific training in Emotional Intelligence during the last three academic cycles. Using validated questionnaires, the indicated skills were evaluated and the existing correlations between them were studied, obtaining meeting points that reflect the degree of importance that the dynamics of specific intervention in certain skills have for the general development of emotional skills.

Keywords: empathy, social skills, industrial engineering, emotional intelligence.

1. INTRODUCCIÓN.

La empatía, definida como la capacidad de comprender y compartir los sentimientos de los demás, se ha convertido en un elemento esencial en el desarrollo de competencias sociales en diversos contextos, desde la educación hasta el ámbito laboral. Goleman (2000) considera que la empatía es una de las habilidades clave de la inteligencia emocional, permitiendo a los individuos no solo reconocer las emociones ajenas, sino también responder adecuadamente a ellas. Este reconocimiento es crucial para establecer relaciones interpersonales saludables, lo que favorece un ambiente colaborativo y de apoyo.

El incremento de la empatía no solo mejora las interacciones personales, sino que también impacta significativamente en el desarrollo de competencias sociales más amplias, como la comunicación efectiva, la resolución de conflictos y el trabajo en equipo. Decety y Jackson (2004) destacan que la empatía actúa como un puente que facilita la conexión entre las personas, promoviendo una mayor comprensión y cooperación. En un mundo cada vez más interconectado, donde la diversidad y la multiculturalidad son la norma, la capacidad de empatizar se vuelve fundamental para navegar en entornos complejos.

Un estudio de Cuff et al. (2016) sugiere que la educación emocional puede aumentar significativamente la empatía, mejorando así la capacidad de interacción efectiva. Este desarrollo no solo enriquece las relaciones interpersonales, sino que también contribuye a la creación de comunidades más cohesivas. Reyes y Dagoberto (1990) afirman que es posible desarrollar la empatía mediante el entrenamiento, siendo la modalidad didáctica-experiencial más adecuada.

Para los ingenieros industriales, el desarrollo de la empatía y las competencias sociales es fundamental, ya que su labor no solo implica habilidades técnicas, sino también la capacidad de interactuar y colaborar eficazmente. En un entorno laboral cada vez más interconectado y multidisciplinario, la empatía se convierte en una herramienta clave para la gestión de equipos y la resolución de conflictos. Goleman (2009) señala que *"la inteligencia emocional, que incluye la empatía, es un factor determinante en el éxito profesional"*, lo que resalta la importancia de esta habilidad en el ámbito laboral. Decety y Jackson (2004) afirman que *"la empatía fomenta un clima organizacional positivo"*, lo que es especialmente relevante en la ingeniería industrial, donde la colaboración interdisciplinaria es esencial para el éxito de los proyectos.

Las competencias sociales son esenciales para una comunicación efectiva. Un ingeniero que se comunica bien y trabaja en equipo tiene más probabilidades de liderar proyectos, resolver conflictos y motivar a su equipo, contribuyendo así al éxito de los proyectos y a un entorno laboral positivo. Los ingenieros industriales a menudo deben liderar equipos, gestionar proyectos y comunicarse con diversas partes interesadas.

El desarrollo de competencias sociales es crucial para los ingenieros industriales. Según Cuff et al. (2016), *"las habilidades sociales son fundamentales para el trabajo en equipo y la gestión de proyectos, ya que permiten a los individuos interactuar de manera constructiva y resolver diferencias de manera efectiva"*. En un campo donde los proyectos son complejos y requieren la cooperación de múltiples actores, estas competencias son vitales para garantizar el cumplimiento de los objetivos.

Fomentar las competencias emocionales en las carreras de ingeniería industrial es esencial por varias razones. La ingeniería industrial no solo se centra en la optimización de procesos y sistemas, sino que también implica trabajar con personas. La empatía permite a los ingenieros entender mejor las necesidades y preocupaciones de sus compañeros, clientes y otros, facilitando la colaboración y mejorando el ambiente laboral. Además, estas competencias ayudan a comprender las expectativas de los usuarios finales, lo que es crucial para diseñar soluciones efectivas y fomentar la innovación. En un entorno laboral en constante cambio, las competencias sociales son igualmente importantes para la gestión del cambio y la resolución de conflictos. Un ingeniero que maneja bien las relaciones interpersonales está mejor preparado para liderar equipos y proyectos, contribuyendo al éxito general de la organización. Las competencias sociales complementan entonces las habilidades técnicas y son esenciales para un desempeño integral en la ingeniería industrial.

En la actualidad existe un elevado compromiso de parte de las instituciones educativas para satisfacer las necesidades de los mercados laborales, haciendo hincapié en que educación integral no sólo es conocimiento sino aplicación del mismo, siendo en este punto donde el adecuado desarrollo de las habilidades del ser humano empieza a ser relevantes. Considerando que los mercados actuales en sistemas económicos competitivos y globalizados manifiestan necesidades relativas a la educación, donde se exige formación no sólo en lo profesional, sino también en lo relacionado al desarrollo de habilidades sociales (Rojas Pérez, 2011).

Rasoal et al. (2012) afirman que en diversos estudios se indica que los ingenieros en general suelen presentar bajos niveles de competencias sociales, pero que estos pueden elevarse mediante el fortalecimiento de la empatía. En la formación del ingeniero industrial en la Universidad Nacional de Mar del Plata, se trabaja para desarrollar diversas competencias emocionales que el futuro profesional debe adquirir a lo largo de su carrera. En este artículo se presenta la evaluación de ambas habilidades (empatía y competencias sociales) y su relación, en estudiantes de los últimos años de la carrera, que recibieron formación específica en Inteligencia Emocional durante tres ciclos lectivos. A través de un instrumento validado, se evaluaron las competencias y se estudiaron las correlaciones existentes, obteniendo resultados que reflejan la importancia de las dinámicas de intervención específica en el desarrollo de competencias emocionales.

2. DESARROLLO.

2.1 Participantes.

La muestra de estudio está conformada por 103 estudiantes que aprobaron la asignatura electiva Coaching Organizacional en los ciclos lectivos 2021, 2022 y 2023 (28, 37 y 38 estudiantes respectivamente).

2.1.1 Características de la asignatura Coaching Organizacional.

La asignatura se cursa aproximadamente en el cuarto año de la carrera, debido a sus precorrelativas (25 asignaturas aprobadas). Comprende aspectos como la motivación, la autodeterminación, la superación, el entusiasmo y la capacidad de entrega.

Los objetivos son los siguientes:

> *"Que el estudiante pueda incrementar su capacidad para liderar, desarrollar equipos de trabajo e impactar positivamente a sus colegas, mejorar su desempeño y el de su grupo. A partir de la auto-observación, fortalecer su confianza, lo cual mejorará sus relaciones y la cultura organizacional. Podrá desarrollar la competencia para enfrentar procesos de transición, gestionar el conflicto, y obtener resultados de mayor calidad, aumentando la motivación y el compromiso".*

El cuerpo docente está conformado por dos profesoras. El curso está organizado en una introducción y seis unidades. En la introducción se hace hincapié en la importancia que tienen las emociones y los sentimientos en la construcción de la personalidad y en la vida profesional. En las unidades se abordan los siguientes temas: 1. Coaching Ontológico, 2. Espacio del Observador, 3. Espacio de la Emocionalidad, 4. Espacio de la Corporalidad, 5. Espacio del Lenguaje y 6. Herramienta Programación Neuro Lingüística (PNL).

El cursado es cuatrimestral (4 horas semanales), está organizado en una comisión y no existe una división exacta entre la clase teórica y la práctica.

Para el trabajo en el aula se realizan las siguientes actividades:

- De identificación: presentarse en público, contar sus habilidades, hobbies, cualidades positivas.

- Para fomentar habilidades sociales: *role playing*, trabajo en grupos, enseñanza recíproca.

- Para fomentar la escucha crítica: comunicación verbal y no verbal, percepciones, emociones, entender y escuchar activamente al otro.

- Para resolver conflictos de manera pacífica: buscar alternativas de solución a los problemas, aceptar de diferentes puntos de vista, debates, trabajar la crítica, respetar las opiniones y aportes de los compañeros.

- Actividades de expresión y de sentimientos: ejercicios de expresión en primera persona, identificando y mencionando sentimientos y emociones, mímica, actividades de autocontrol, de relajación y observación.

- Armado de clases expositivas grupales, mediante videos, de temas seleccionados por las docentes en las que los estudiantes estarán a cargo de desarrollar un tema determinado, bajo la supervisión directa de la cátedra.

- Presentación de infografías sobre temas específicos.

- Confección de un portafolio individual en el que se recopilan evidencias que demuestran la comprensión de contenidos aprendidos según los temas indicados por el cuerpo docente.

Los procesos de intervención pedagógica son:

- Clases teórico-prácticas con el objetivo de abordar temáticas no desarrolladas con anterioridad por los estudiantes, con el soporte de diapositivas.

- Sesiones de discusión que facilitan el intercambio de puntos de vista, profundizan alguna temática cuyo contenido sea controvertible, logran una mejor comprensión del contenido y un mayor alcance de ciertas problemáticas claves.

- Uso del recurso audiovisual para el desarrollo de las competencias, llevando la clase situaciones que, desde la teoría pueden resultar tediosas y complejas para abordarlas de otra forma (fracciones de películas, propagandas, memes, reels, entre otros).

- Profesionales invitados para el desarrollo de temas específicos.

En cuanto a la evaluación, se requiere al estudiante participar al menos del 80% de las clases, ya que la presencialidad ofrece un contexto vivencial, lúdico e inmersivo, con evaluación de proceso mediante un portafolio de evidencias y la aplicación de rúbricas cumplimentadas por las docentes a partir de observación directa.

Al finalizar la cursada de la asignatura cada estudiante autoevalúa su nivel de adquisición de las competencias emocionales a través del Test de Inteligencia Emocional.

2.2. Instrumento de autoevaluación.

El instrumento aplicado se denomina Test de Inteligencia Emocional de Emily Sterrett (Velastegui Hernández et al, 2021), en el cual cada estudiante autoevalúa su nivel de adquisición de las competencias emocionales. Consta de 30 ítems (escala Likert donde 1 es “Prácticamente siempre” y 5 es “Prácticamente nunca”), se dividen en 6 secciones de 5 preguntas cada una, y evalúa las competencias de autoconciencia, autoconfianza, empatía, motivación, autocontrol y competencia social, según las dimensiones establecidas por Goleman.

La interpretación del Test se basa en los puntajes obtenidos para cada dimensión, valor que oscila entre 5 y 25 puntos (aunque podría obtener menos de 5 puntos si el estudiante deja preguntas sin responder), y se considera que la competencia está “En desarrollo” para el rango de 5 a 20 puntos, y “Adquirida” para más de 20 puntos.

2.3 Análisis de la información.

Se calculó el promedio de adquisición de cada competencia emocional sobre el total de estudiantes por año, con el propósito de realizar una matriz de correlaciones para examinar cómo se relacionan entre sí las distintas dimensiones. Al observar los coeficientes de correlación entre las dos competencias en estudio (empatía y competencias sociales) se puede inferir cómo están relacionadas y cómo los cambios de una pueden afectar a la otra.

La correlación entre dos variables se ha calculado utilizando el coeficiente de correlación de Pearson (r), que mide la fuerza y dirección de la relación ambas (Hernández Sampieri, 2014). El valor de r oscila entre −1 y 1, donde:

- r=1: Correlación positiva perfecta (cuando una variable aumenta, la otra también lo hace en proporción).
- r=−1: Correlación negativa perfecta (cuando una variable aumenta, la otra disminuye en proporción).
- r=0: No hay correlación (no existe una relación lineal entre las variables).

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

Donde:

r_{xy} es el coeficiente de correlación entre las variables x y y.

n es el número de datos.

x_i y y_i son los valores individuales de las variables x y y en la posición i.

$\bar{x}$ es la media de los valores de la variable x, calculada como $\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$.

$\bar{y}$ es la media de los valores de la variable y, calculada de manera similar.

3. RESULTADOS.

Para dar inicio al análisis se evaluaron las posibles discrepancias en la muestra, comparando cada cursada individualmente. En el Figura 1 se muestra el porcentaje de la muestra que ha adquirido cada una de las competencias emocionales, para cada año considerado.

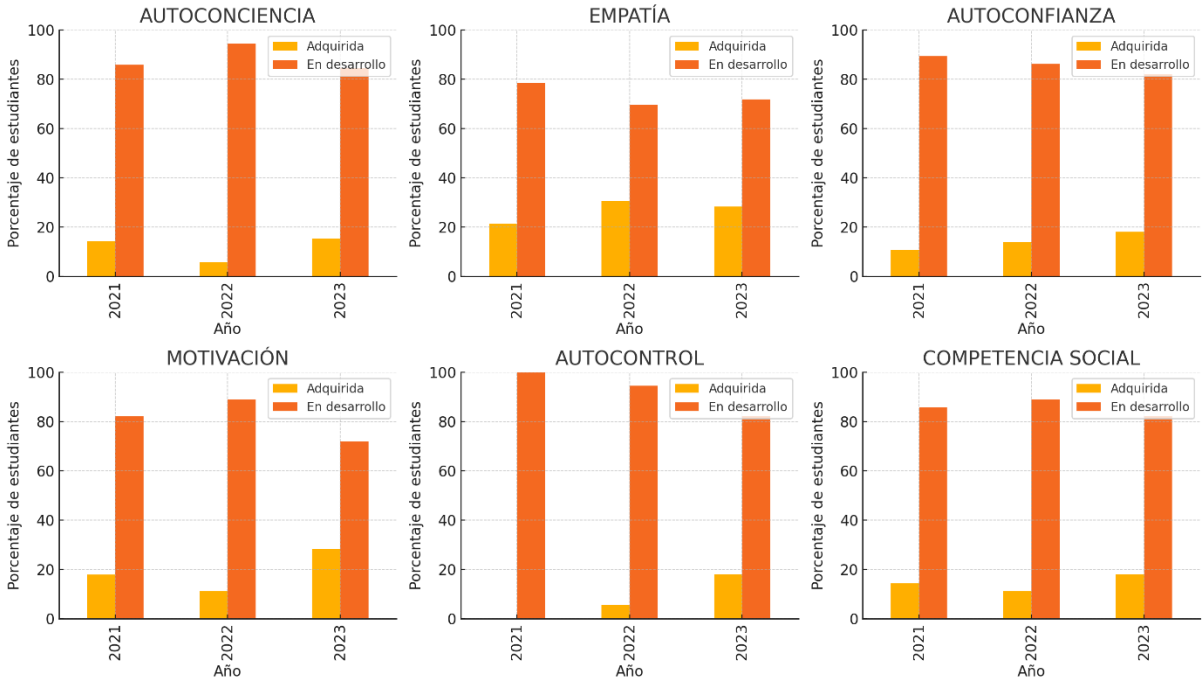


Figura 1 Comparativa del logro de las competencias emocionales, para cada año de la muestra.

Esta primera aproximación viene a confirmar las observaciones previas (Rasoal et al., 2012) que indican que los ingenieros en general suelen presentar bajos niveles de competencias sociales.

En el Test de Inteligencia Emocional de Emily Sterrett, las categorías de "En desarrollo" (puntajes entre 5 y 20 puntos) y "Adquirida" (más de 20 puntos) pueden parecer amplias, especialmente la categoría "En desarrollo", que abarca una gama significativa de puntajes. Sin embargo, hasta donde llega la información disponible, la autora no parece haber propuesto formalmente subniveles de logro adicionales para la categoría de "En desarrollo". Asimismo, no se define una categoría para el intervalo de 0-5 en la puntación, que se interpreta como “No Adquirida” o con un nivel muy bajo de adquisición.

Estos subniveles permitirían una mayor flexibilidad y precisión en el análisis y la toma de decisiones sobre las competencias emocionales de los participantes, por lo que se presentará un desagregado promedio medido en valor absoluto del nivel de logro (ver Figura 2).

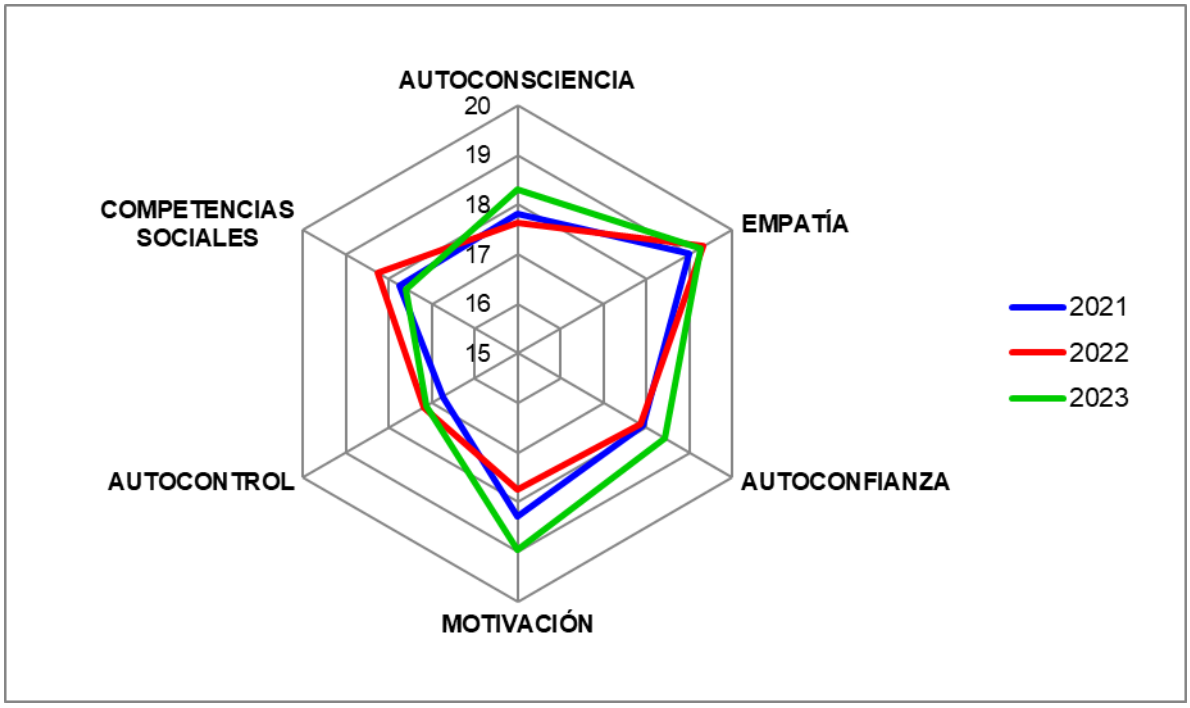


Figura 2 Nivel promedio de logro de cada competencia, para cada año de la muestra.

Puede observarse que en ningún caso los valores promedio son inferiores a 15 puntos del test, lo que se corresponde con un nivel de desarrollo de la competencia en las cercanías a la adquisición de la misma. Es decir que estamos trabajando con una muestra de estudiantes que tienen un grado elevado de desarrollo de las competencias emocionales, aunque no llegan al nivel de adquisición completa.

Para profundizar el análisis, se han estudiado las correlaciones pareadas entre dos competencias cualesquiera, para cada año de muestra, y los resultados se presentan en las Tablas 1, 2 y 3 donde se expresan las *r* de Pearson calculadas en cada caso.

Tabla 1 Matriz de correlaciones de las competencias emocionales, año 2021.

AÑO 2021	EMPATÍA	AUTOCONFIANZA	MOTIVACIÓN	AUTOCONTROL	COMPETENCIA SOCIAL
AUTOCONCIENCIA	0.188	0.159	0.423	-0.123	0.346
EMPATÍA		0.172	0.134	0.397	0.428
AUTOCONFIANZA		1.0	0.331	0.01	-0.05
MOTIVACIÓN			1.0	0.192	0.225
AUTOCONTROL				1.0	0.335

Tabla 2 Matriz de correlaciones de las competencias emocionales, año 2022.

AÑO 2022	EMPATÍA	AUTOCONFIANZA	MOTIVACIÓN	AUTOCONTROL	COMPETENCIA SOCIAL
AUTOCONCIENCIA	-0.024	-0.035	0.114	0.367	0.075
EMPATÍA	1.0	0.283	0.1	0.105	0.245
AUTOCONFIANZA		1.0	0.338	0.205	0.169
MOTIVACIÓN		0.338	1.0	0.221	0.229
AUTOCONTROL				1.0	0.057

COMPETENCIA SOCIAL					1.0

Tabla 3 Matriz de correlaciones de las competencias emocionales, año 2023.

AÑO 2023	**EMPATÍA**	**AUTOCONFIANZA**	**MOTIVACIÓN**	**AUTOCONTROL**	**COMPETENCIA SOCIAL**
AUTOCONCIENCIA	0.551	0.232	0.559	0.305	0.379
EMPATÍA	1.0	0.205	0.476	0.349	0.361
AUTOCONFIANZA		1.0	0.332	0.46	0.363
MOTIVACIÓN			1.0	0.485	0.423
AUTOCONTROL				1.0	0.343
COMPETENCIA SOCIAL					1.0

En el año 2021 se observa que la correlación entre la empatía y la competencia social es la más alta con respecto al resto de las competencias emocionales (r=0.428). Esto indica una relación positiva moderada, lo que sugiere que a medida que aumenta la empatía, también tienden a aumentar las competencias sociales. En el año 2022 los resultados demuestran un comportamiento similar en la relación de ambas competencias bajo estudio, sin embargo se puede observar que la empatía tiene una correlación más fuerte con la autoconfianza (r=0.283) que con las competencias sociales. En el año 2023 la correlación entre la empatía y las competencias sociales es de r=0.361. Además, se observa que la empatía tiene correlaciones significativas con otras variables, como la motivación (r=0.476) y la autoconciencia (r=0.551).

Según los resultados obtenidos se puede inferir que las personas que muestran un mayor nivel de empatía suelen tener mejores habilidades para interactuar y relacionarse con las personas (competencias sociales). Además, la empatía no solo está relacionada con la capacidad de entender y compartir los sentimientos de los demás, sino que también puede influir en cómo una persona se siente consigo misma y en su capacidad para gestionar sus emociones (autoconocimiento). También puede estar más motivada (motivación) y tener una mejor autoconocimiento de sí mismo (autoconciencia). Lo anterior contribuye a sus competencias sociales.

En un estudio previo se comparó la autoevaluación de competencias emocionales de los estudiantes de 2021 y 2022 (D´Onofrio et al., 2024a). Los hallazgos revelaron que las competencias de motivación y autoconfianza fueron las menos desarrolladas En la cursada del año 2023 se prestó especial atención al desarrollo de la motivación y la autoconfianza en la asignatura. Se implementaron diversas acciones, como:

- Se incorporaron actividades para reconocer objetivos personales y logros, fomentando la motivación y el entusiasmo.
- Se invitó a un profesional de Ingeniería Industrial para aplicar la "Ventana de Johari", una herramienta que mejora el autoconocimiento y las competencias emocionales, ayudando a explorar la Autoconfianza y la Motivación.
- Se trabajó en las posturas corporales en la unidad "Espacio de la Corporalidad", relacionadas con la confianza.

Las acciones llevadas a cabo para potenciar las competencias de motivación y autoconfianza demostraron tener efectos positivos sobre las competencias estudiadas (D´Onofrio et al., 2024b).

Del análisis de los datos estamos en condiciones de afirmar que el crecimiento de la motivación, también influye indirectamente en el aumento de las competencias sociales (por su vínculo con la autoconciencia) y coincide con los resultados obtenidos en la Tabla 3.

4. DISCUSIÓN Y PERSPECTIVAS.

Con la confirmación empírica de que las competencias emocionales pueden ser estimuladas y desarrolladas mediante estrategias formativas, se ha propuesto un plan de desarrollo para trabajar directamente sobre la empatía.

El desarrollo de la empatía no es algo instantáneo, sino un proceso que requiere práctica consciente. La combinación de ejercicios prácticos y reflexión puede ayudar a las personas a mejorar su capacidad para comprender y conectarse emocionalmente con los demás, lo que resulta esencial tanto en la vida personal como profesional.

Preliminarmente se han relevado estudios y fuentes relacionados con estrategias para mejorar la empatía en los estudiantes de ingeniería (Rasoal et al, 2012; Busu et al, 2020; Patterson, 2019; entre otros).

Las estrategias pedagógicas por implementar estarán centradas en aprendizaje situado basado en problemas (Busu et al., 2020), y su relación con el aprendizaje basado en servicio (Patterson, 2019) que se desarrollará conjuntamente con actividades de Práctica Sociocomunitaria, que se han curricularizado en el nuevo plan de estudios, y es posible que tengan un efecto positivo en el incremento de la empatía de los estudiantes (Howcroft et al., 2021).

5. CONCLUSIONES.

Para una integración social y laboral apropiada, es indispensable contar con un amplio repertorio de habilidades que apoye el desempeño del ser humano en las diferentes situaciones vividas, es por esto que el presente trabajo identificó el desarrollo de las competencias sociales que poseen los estudiantes de carrera Ingeniería Industrial, así como también el resto de las dimensiones consideradas por Goleman y la relación entre ellas.

Es así que la investigación constató que los estudiantes no presentan carencias en el desarrollo de las competencias sociales por fuera de lo previsto, y que pueden mejorar su performance a través del fortalecimiento la empatía. En cuanto al resto de las competencias emocionales, impactan positivamente en las competencias sociales ya sea por su influencia sobre la empatía (acción indirecta), o por una acción directa.

Los resultados coinciden con trabajos previos, que hacen hincapié en la necesidad del desarrollo de la empatía y las competencias sociales, ya que los mercados requieren personal capaz de realizar trabajo en equipo, manejo de conflictos, toma de decisión, manejo de personal. Para ello los aprendizajes deben coadyuvar a la incorporación laboral de los futuros egresados, lo que manifiesta la necesidad de incorporar asignaturas de corte humanista, reconociendo su apoyo a la formación integral de los egresados.

La relevancia de las estrategias pedagógicas para el desarrollo de competencias emocionales ha quedado confirmada, y sobre esta base se han diseñado estrategias de intervención para el desarrollo de la empatía, e incluso se estudiará su relación con la curricularización de las Prácticas Sociocomunitarias que actualmente se está implementando.

6. REFERENCIAS.

Busu, T. M., Mohd-Yusof, K., & Ab Rahman, N. F. (2020). Empathy enhancement among engineering students through cooperative problem-based learning. *2020 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE)*, 889-894. https://doi.org/10.1109/TALE48869.2020.9368443 https://consensus.app/papers/enhancement-among-engineering-students-cooperative-busu/675d0a42ef655423bf3647433712f843/?utm_source=chatgpt

Cuff, B., Brown, S., Taylor, L., Howat, D. (2016). Empathy: A Review of the Concept. Emotion Review, 8. 144-153. https://www.researchgate.net/publication/272202633_Empathy_A_Review_of_the_Concept

Decety, J., Jackson, P. (2004). The Functional Architecture of Human Empathy. *Behavioral and cognitive neuroscience reviews*, 3. 71-100. https://www.researchgate.net/publication/51369194_The_Functional_Architecture_of_Human_Empathy

D´Onofrio, M. V, Prestes, P., Morcela A. (2024a). *Una experiencia de formación en competencias emocionales en la carrera de Ingeniería Industrial.* Trabajo presentado en las IX Jornadas de

Enseñanza de la Ingeniería - JEIN 2023, Núm. AJEA 33, 183 -190., Paraná. https://doi.org/10.33414/ajea.1365.2024

D´Onofrio, M. V, Prestes, P. y Morcela A. (2024b). *Inteligencia emocional en la formación del Ingeniero Industrial*. Trabajo presentado en las 5º Jornadas sobre las prácticas docentes en la Universidad Pública, La Plata. En prensa.

Goleman, D. (2000) *La Inteligencia Emocional*. Editorial Vergara.

Goleman, D. (2009). *La inteligencia emocional en la empresa. Resumen.* El Cid Editor, CEDINPE, UNSAM.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6ª ed.). McGraw-Hill.

Howcroft, J., Mercer, K., & Boger, J. (2021). Developing ethical engineers with empathy. *Proceedings of the Canadian Engineering Education Association (CEEA)*. https://doi.org/10.24908/pceea.vi0.14856. https://consensus.app/papers/developing-ethical-engineers-with-empathy-howcroft/0cef26742dbb543cbb13821cbc15683b/?utm_source=chatgpt

Patterson, L. (2019). Engineering students' empathy development through service learning: Qualitative results in a technical communication course. *2020 IEEE International Professional Communication Conference (ProComm)*, 68-75. https://doi.org/10.1109/ProComm48883.2020.00017. https://consensus.app/papers/engineering-students-development-through-service-patterson/30dcb19b64d2508f896cdd8ef6030283/?utm_source=chatgpt

.

Reyes F., G., Benítez F., D. (1990). Empatía: una aproximación empírica. *Revista de Psicología*, Vol I. https://doi.org/10.5354/0719-0581.1990.18407

Rojas Pérez, Y. (2011). *Habilidades sociales en futuros ingenieros*. Trabajo presentado en el XI Congreso Nacional de Investigación Educativa, México DF. https://www.comie.org.mx/congreso/memoriaelectronica/v11/docs/area_01/0726.pdf

Rasoal, CH., Danielsson, H., Jungert, T. (2012). Empathy among students in engineering programmes. *European Journal of Engineering Education*, 37:5, 427-435. http://dx.doi.org/10.1080/03043797.2012.708720

Velastegui Hernández, D .C., Vásquez de la Bandera Cabezas, F .A., Flores Hernández, V. F. (2021). La autoevaluación como técnica de mejoramiento en la inteligencia emocional estudiantil: Estudio de caso. *Investigación Clínica*, vol. 62, no. S3, 15 Sept. 2021, pp. 129+. https://gale.com/apps/doc/A686261396/AONE?u=anon~9a61553&sid=googleScholar&xid=f8cef38e

"EXPOSICIÓN A LA TECNOLOGÍA EN POSPANDEMIA: LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y LOS NUEVOS DESAFÍOS EN LA GESTIÓN EDUCATIVA Y LABORAL"

Chinni, Guillermo Andrés[1]; Lurati Irurzun, Horacio[2]; Buela, Juan José[3]; Toscani Taberna, Natalia V. [4]; Galloso, Veronica[5]; Lopez Pasaron, Christian[6]

Facultad de Ingeniería, Universidad del Salvador. Sedes Pilar/C.A.B.A.
Champagnat 1599, Ruta Panamericana Acceso Norte Km.54.5,
B1630AHU Pilar, Buenos Aires, Argentina.
[1]chinni.guillermoandres@usal.edu.ar
[2]hlurati@usal.edu.ar
[3]juan.buela@usal.edu.ar
[4]natalia.toscani@usal.edu.ar
[5]veronica.galloso@usal.edu.ar
[6]christian.pasaron@usal.edu.ar

RESUMEN

La adicción a Internet es una adicción conductual cada vez más frecuente que origina numerosos problemas psicosociales. Investigar las causas y consecuencias de la adicción a Internet es fundamental para comprenderla y prevenirla. Es importante diseñar intervenciones para reducir las conductas adictivas entre los jóvenes, por ejemplo. Existen resultados de investigación limitados con resultados contradictorios.
Este trabajo propone establecer un marco de conocimiento para comprender el paradigma actual en el uso de servicios tecnológicos basados en inteligencia artificial, establecer las nuevas problemáticas para su adecuado uso y prevenir adicciones, desórdenes asociados en el ámbito académico, principalmente en alumnos. Es así que en este trabajo se resumen algunas de las nuevas creencias o hábitos incorporados recientemente por alumnos o usuarios que utilizan los servicios de inteligencia artificial, como es el caso testigo de ChatGPT, a los fines de ser considerados por docentes e instituciones.

Palabras Claves: Trastornos del aprendizaje, prevención y tratamiento de adicciones tecnológicas, entornos virtuales y salud mental, inteligencia artificial, IA, ChatGPT.

ABSTRACT

Internet addiction is an increasingly common behavioral addiction; it causes numerous psychosocial problems. Investigating the causes and consequences of Internet addiction is essential to understanding and preventing it. It is important to design interventions to reduce addictive behaviors among young people, for example. There are limited research results with conflicting results.

This work proposes to establish a knowledge framework to understand the current paradigm in the use of technological services based on artificial intelligence, establish new problems for their proper use and prevent addictions, disorders associated in the academic field, mainly in students. Thus, this work summarizes some of the new beliefs or habits recently incorporated by students or users who use artificial intelligence services, as is the case of ChatGPT, in order to be considered by teachers and institutions.

Keywords: Learning disorders, mobile phone addiction type, prevention and treatment of technological addictions, virtual environments and mental health, artificial intelligence, AI, ChatGPT.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de Internet y dispositivos móviles ha supuesto grandes avances para la sociedad por su utilidad en diversos ámbitos de la vida cotidiana, el ejercicio profesional o incluso la educación, aunque también ha generado trastornos de adicción que han causado gran preocupación, con una estimación de aproximadamente el 2% de prevalencia en la población adulta mundial (Kuss et al., 2014; Kuss y López-Fernández, 2016; Poli, 2017 en Lozano-Blasco et al., 2022). El alcance de las adicciones se ha extendido a diversos usos o servicios, incluso en aplicaciones lúdicas, como los “deportes electrónicos”, que son muy frecuentes en la cultura moderna, particularmente entre los jóvenes usuarios que los consideran como un pasatiempo “saludable”. Sin embargo, existe un posible vínculo entre videojuegos (incluidos los deportes electrónicos) y el uso problemático de Internet; la llamada adicción a Internet o inteligencia artificial, principalmente en adolescentes. La adicción a Internet se detectó en el 19,9% de los jugadores (461 de 2313) en trabajos sobre el uso problemático de Internet. En tal sentido, se encontró que uno de cada cinco jugadores adultos sufría de adicción a Internet; además estarían vinculados factores de riesgo tales como edad, estado familiar y tipo de empleo (Kósa et al., 2022).

La adicción a Internet es una adicción conductual cada vez más frecuente que origina numerosos problemas psicosociales. Investigar las causas y consecuencias de la adicción a Internet y servicios tecnológicos es fundamental para comprenderla y prevenirla. Es importante diseñar intervenciones para reducir las conductas adictivas entre los jóvenes. Aunque existen varios indicadores que pueden presentarse en las personas afectadas, como ser la autorregulación deteriorada, el aislamiento social y la incapacidad para vincularse; existen resultados limitados en investigación con resultados contradictorios (Arslan et al., 2021).

“Un estudio de 2024 destaca que el uso excesivo de Internet, especialmente entre adolescentes, está estrechamente relacionado con el desarrollo de problemas de salud mental como la depresión, el estrés y la ansiedad. Estos problemas se ven exacerbados por entornos familiares y escolares disfuncionales, lo que sugiere que la adicción a Internet no solo afecta al individuo, sino que también puede reflejar y agravar problemas en su entorno psicosocial” (Aziz et al., 2024).

Este trabajo es la continuación de previas publicaciones (Chinni, Lurati y Buela, 2023), para el cual se hizo énfasis en la disrupción de la inteligencia artificial en el ámbito académico universitario, como es el caso de ChatGPT, en el cual se analizaron algunas de las principales creencias o factores que tienen en cuenta los usuarios, particularmente alumnos universitarios ingresantes, en relación a este recurso y sus implicancias.

2. METODOLOGÍA

2.1. Objetivos e hipótesis

Para este trabajo se realizaron observaciones exploratorias entre alumnos ingresantes de los años 2023 y 2024, particularmente durante el primer cuatrimestre de cada ciclo, respecto a los nuevos recursos utilizados para desarrollar sus actividades académicas, como ser trabajos prácticos, estudios y conocimiento complementario. Así mismo del análisis de la bibliografía y experiencias institucionales se planteó la posibilidad de vincular conocimientos que permitan desarrollar estrategias para el diseño pedagógico en entornos de aprendizaje con nuevas tecnologías en ciencias aplicadas.

Se plantearon algunas hipótesis iniciales sobre el uso actual de dispositivos móviles y servicios o entornos asociados con la inteligencia artificial con el propósito brindar conocimientos conceptuales para lograr la moderación y organización de los nuevos servicios desarrollados con inteligencia artificial.

Objetivo General

El objetivo principal se basó en brindar un marco de referencia y un conjunto de conocimientos referentes a las características que presentan algunos servicios de aprendizaje o búsqueda utilizados por los jóvenes universitarios en periodo de pospandemia (término y prefijo adecuado según Real Academia Española -RAE-), particularmente respecto al uso de ChatGPT y servicios de las mismas características.

Objetivos específicos

1. Generar un marco de referencia para la combinación de las estrategias necesarias para la prevenir el uso inadecuado de la inteligencia artificial.

2. Establecer las pautas que permitan una adecuada moderación en uso de dispositivos e Internet como complemento del aprendizaje.

3. Generar recomendaciones sobre cómo moderar y apoyar a los docentes en el uso de herramientas tecnológicas.

Hipótesis

A partir de la pandemia de Covid-19 se favorecieron las condiciones para la adopción de dispositivos electrónicos, servicios de Internet y nuevos entornos como una necesidad recurrente y no solo complementaria para realizar las actividades académicas o laborales. De esta manera ocurrió primero un cambio histórico hacia la mayor adopción de servicios tecnológicos entre 2020 y 2022 (ej: servicios de video, chat y mensajería), para luego iniciarse una etapa con la incorporación de nuevas herramientas con mayor énfasis en la inteligencia artificial.

2.2. Diseño y metodología

La metodología para el marco teórico se basó en fichas de lectura, método de mapeo, mapa conceptual y experiencia docente. Se utilizaron herramientas de gestión bibliográfica. Se han propuesto una serie de pautas para evaluar, recolectar, analizar y desarrollar la investigación en base al estudio de casos en la bibliografía. Las búsquedas bibliográficas se realizaron por medio de buscadores académicos, como es el caso de la plataforma del Ministerio De Ciencia, Tecnología e Innovación, Google Académico, así como de Google Argentina. La Biblioteca Electrónica de Ciencia y Tecnología tiene acceso desde instituciones habilitadas a través de Internet al texto completo de revistas científico-técnicas, libros, conferencias y congresos, así como a bases de datos referenciales de gran valor para la comunidad científica. Se emplearon palabras claves como: trastornos del aprendizaje, prevención y tratamiento de adicciones tecnológicas, entornos virtuales y salud mental, inteligencia artificial y ChatGPT.

2.3. Enfoque y pautas preliminares

El alcance de la investigación ha sido exploratorio y descriptivo, realizando pruebas de usuario complementadas con observaciones en aula docente con alumnos universitarios ingresantes. Respecto al diseño, ha sido de tipo exploratorio.

Se ha propuesto una serie de pautas para evaluar, recolectar, analizar y desarrollar la investigación en base al estudio de casos en la bibliografía y experiencia en docencia universitaria.

A los fines de profundizar en los objetivos del trabajo, se planteó una serie de preguntas orientadoras para ayudar en el tratamiento de pautas iniciales, las cuales se mencionan a continuación:

- ¿Cómo se presentan los resultados en las búsquedas en los servicios que utilizan principalmente inteligencia artificial?
- ¿Qué creen o consideran los alumnos ingresantes al emplear los resultados de las búsquedas en servicios como ChatGPT?
- ¿Qué tipo de errores o malas prácticas podrían estar incorporándose los alumnos?

3. OBSERVACIONES SOBRE CAMBIOS EN LA GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO

Las nuevas aplicaciones de búsquedas brindan respuestas específicas y rápidas gracias a su modelo basado en Inteligencia Artificial. Por ejemplo, ChatGPT se diferencia de otros buscadores como Google en que no brinda necesariamente varias opciones de resultados; por el contrario, genera respuestas acotadas sobre conocimientos y hechos ocurridos hasta su fecha de entrenamiento y corte (septiembre de 2021, según informa el mismo chat).

El uso de esta herramienta se ha popularizado en estudiantes secundarios e ingresantes universitarios para el uso de monografías, a la hora de tener que hacer un resumen de un libro, o incluso para comprender mejor algún concepto a nivel universitario, por citar algunos ejemplos detectados. El principal interés sería poder lograr hacer la tarea o actividad en el menor tiempo posible para luego, indefectiblemente, volver a otra aplicación. Esta práctica puede ser considerada por parte de ciertas

personas como un hábito, formando parte de un nuevo paradigma o concepción tecnológica que afecta tanto a los alumnos como a sus vínculos, así como a su desarrollo personal y profesional.

Como primera aproximación podríamos aceptar que ChatGPT a nivel experimental tiene el potencial de mejorar otros buscadores o antecesores tecnológicos. Ahora bien, suponiendo y anticipando que ChatGPT y su modelo se consolidan, resulta exitoso, surgen varios interrogantes respecto a las creencias y costumbres que alumnos o "usuario" podrían adoptar en el mediano a largo plazo; algunas de las cuales se mencionan a continuación en base a observaciones y pruebas realizadas en el mencionado servicio:

1. La información y el conocimiento provienen o se encuentran en un solo lugar (o en pocos lugares).
2. No es necesario ni práctico mencionar las fuentes de información extraída de terceros, ya sea de instituciones, empresas o personas.
3. Los resultados o respuestas son gratis (sin costo alguno).
4. Los conocimientos y la forma de aprendizaje se pueden gestionar en forma anónima, aislada.
5. El conocimiento se transforma en manejo o gestión de datos y eso es lo más importante.
6. No es necesario generar o buscar nuevos conocimientos.

Dado lo extenso que conlleva abordar los seis puntos planteados, en este artículo se resumen algunas de estas creencias preconcebidas por alumnos y mencionadas previamente, haciendo especial énfasis en el segundo punto, el cual trata sobre las fuentes de información de las que se proveen los servicios de inteligencia artificial, como es el caso testigo de ChatGPT, versión 4o mini de libre acceso.

3.1. La información y el conocimiento provienen o se encuentran en un solo lugar o en pocos lugares.

El uso y la costumbre en el uso tecnológico moldearán el pensamiento humano. Google y otros buscadores como Bing integraron y perfeccionaron lo que su antecesor, Netscape, comenzó en 1994. Esto comenzó a moldear la idea, aunque todavía imperfecta, de que la información y el conocimiento se encuentran (o se accede) en pocos lugares. No obstante, todavía con estos buscadores es posible elegir una respuesta sobre una variedad de resultados en base a palabras claves o frases; estos resultados, a su vez, remiten a sitios o entidades posibles de ser rastreadas, mencionadas y referenciadas. Sin embargo, para el caso de las nuevas aplicaciones de búsqueda como ChatGPT el concepto cambia. En este caso se acude a un servicio que brinda una o pocas respuestas integradas, curadas o editadas, como única salida de consulta, en la cual el resultado no presenta alternativas; peor aún, no se identifican las fuentes de información, lo cual lleva al siguiente punto.

3.2. No es necesario ni práctico mencionar las fuentes de información extraída de terceros, ya sea de instituciones, empresas o personas.

En este punto es donde empieza a resquebrajarse el modelo actual de inteligencia artificial como el de ChatGPT. Si hay algo probado y en lo cual los conocimientos se han apoyado, han sido las referencias, las conocidas "menciones" dentro y al final de un documento. El método científico comenzó a aplicarse con frecuencia desde Galileo. Esto estableció una forma de generar conocimiento basado, entre otras cosas, en las referencias bibliográficas de quienes precedieron brindando algún tipo de aporte, ya sea para validar o refutar ideas. Pero antes, mucho antes, incluso en otro tipo de conocimientos, el empleo de referencias fue algo habitual y necesario. Hasta los Libros Sagrados y los Clásicos Griegos las incluyeron. Las referencias (validadas de alguna manera) son la base de autoridad y evidencia para construir cualquier argumento. Es aquí donde el modelo en cuestión cambia notablemente el paradigma del conocimiento y pretende obviar siglos de pensamiento humano en cualquier ámbito, no solo en el científico. Es aquí donde resulta necesario establecer un límite claro entre lo experimental y lo masivo (lo aceptado ya sea por moda o imposición). En la plataforma ChatGPT se argumenta lo siguiente, solo en el caso de que se soliciten referencias sobre el origen de la información, como ser: ¿qué fuentes o referencias utiliza ChatGPT?

"Cuando respondo a preguntas, mi conocimiento se basa en una amplia variedad de fuentes y referencias que fueron utilizadas durante mi entrenamiento. Estas incluyen:

1. Libros y Publicaciones Académicas: Textos especializados en diversas disciplinas proporcionan información detallada y revisada por expertos.

2. Artículos de Revistas Científicas: Artículos revisados por pares ofrecen investigaciones actualizadas y avances en distintos campos.

3. Enciclopedias y Recursos de Referencia: Obras como Enciclopedia Británica y recursos similares brindan información general y accesible sobre una variedad de temas.

4. Sitios Web de Instituciones y Organizaciones: Sitios de instituciones académicas, gubernamentales y organizaciones internacionales como la NASA, la OMS, y la NOAA ofrecen datos y estudios especializados.

5. Materiales de Noticias y Medios de Comunicación: Reportajes y artículos de medios de comunicación acreditados proporcionan contexto y cobertura de eventos actuales.

6. Bases de Datos de Conocimientos Generales:Plataformas como Wikipedia y otras enciclopedias en línea, que son revisadas y actualizadas por comunidades de editores.

Mi entrenamiento involucra el procesamiento de una gran cantidad de texto de estas y otras fuentes, pero no tengo acceso en tiempo real a bases de datos o sitios web, ni puedo citar documentos específicos directamente. Mi conocimiento se basa en patrones y datos extraídos durante el entrenamiento, y no en una consulta activa a fuentes externas".

Es así que queda en evidencia la utilización de diversas fuentes encontradas en Internet. El hecho de que se trate de contenido público el utilizado no implica que sea lícito apropiarse de él para "curar" resultados precisos y brindar los mismos como si fuesen propios. Esto roza lo que podría ser una violación de los derechos de autor y a la libertad de expresion democrática. Por un lado se apropia de algunas fuentes y por el otro excluye muchas, pero sin siquiera mencionar las fuentes elegidas. Nos podríamos preguntar lo siguiente: ¿con qué autoridad es posible seleccionar o excluir conocimiento en forma masiva? O también, ¿es lícito discriminar el conocimiento de esa manera? ¿Qué métodos probados se emplean?

En todos los campos del conocimiento fue necesario el aporte de hombres y mujeres que precedieron en hechos y evidencias; cada conocimiento tuvo sus bases, sus fuentes y referencias en tiempo y lugar. Sin embargo, los resultados de ChatGPT no hacen mención ni general ni específica sobre autores o fuentes originales, tampoco se incluye la fecha de las referencias; solo se brinda la fecha de "entrenamiento" o "fecha de corte". Si hay algo que todo científico sabe, es que las fuentes y las fechas de publicación son necesarias para el conocimiento.

3.3. Los resultados o respuestas son gratis.

Los hábitos arraigados en el uso de estas nuevas tecnologías pueden dar lugar a varias confusiones o errores; pueden hacer incluso que el valor de las cosas, de las fuentes o referencias, por ejemplo, sea dejado de lado. Cada artículo científico, noticia, libro o página web tiene horas o incluso años de desarrollo, medido esto en personas y recursos dedicados a producir algo coherente y útil. Sin embargo, el concepto de "Open" o abierto del modelo de ChatGPT puede desvalorizar el conocimiento de las fuentes e introducir un método falaz en la generación del conocimiento.

3.4. Los conocimientos y la forma de aprendizaje se pueden gestionar en forma anónima, aislada.

Otra falacia posible de ser inducida es la de pensar, o peor aún, creer, que no es necesario interactuar con otras personas, ya sean chicos, chicas, padres o docentes para aprender. La necesidad de mentores comenzó en la antigüedad y se empleó hasta no hace tanto tiempo. Sócrates fue mentor de Platón; Aristóteles fue discípulo de Platón. Albert Einstein necesitó de Henri Poincaré y Hendrik Lorentz para sus teorías de la relatividad, por citar algunos ejemplos.

Hoy vemos otra pandemia, la de los jóvenes que no le encuentran sentido a la vida. Daniel Cox (2023), trata este punto con bastante elocuencia al mencionar lo siguiente:

"Esta creciente ola de aislamiento es particularmente importante entre los jóvenes: el tiempo que los estadounidenses de entre 15 y 24 años pasan con amigos ha disminuido considerablemente en las últimas dos décadas, según informes recientes, de un promedio de 2,5 horas por semana, se ha pasado a sólo 40 minutos".

"El último acontecimiento que amenaza con empeorar aún más esta crisis de soledad es el auge de la inteligencia artificial. El lanzamiento de ChatGPT de OpenAI a finales de 2022 ha provocado una explosión de interés en el potencial de integrar chatbots impulsados por la inteligencia artificial en nuestras vidas".

La interacción humana y la privacidad son también otros de los aspectos que podrían ser afectados por la inteligencia artificial, esto plantea nuevos problemas a nivel social y familiar de la llamada Generación Z.

3.5. El conocimiento es manejo o gestión de datos y eso es lo más importante.

El nuevo paradigma de servicios con inteligencia artificial establece que para acceder al conocimiento es necesario el soporte y la mediación tecnológica, excluyendo así otros soportes tradicionales utilizados tanto con el método científico original, así como en otros conocimientos, como el artístico, el religioso; incluso en el conocimiento vulgar o popular.

Milano (2020) reflexiona sobre la naturaleza humana en la búsqueda de conocimiento impulsada por su vocación:

> Todo descubrimiento, no parte "asépticamente" (esto es, de forma pura e incontaminada), desde una determinada realidad exterior, como si se tratara de un vacío espiritual y mental que se encuentra con una realidad exterior que no conocía ni concebía, sino que se inicia desde el sujeto mismo que por intuición concibe una realidad que buscará probar con toda la carga cultural, conceptual y metodológica de la naturalmente dispone. Consciente e inconscientemente se busca probar lo que se desea, desde esa parcial y peculiar visión personal. (p. 101-102)

Desde hace varios años los principales fondos de inversión han dado prioridad a la tecnología. Este hecho primero fomentó la Blockchain o cadena de bloques y luego la inteligencia artificial. Paradójicamente, ese desbalance en la inversión de recursos a nivel mundial ha hecho que la productividad disminuya. Joe Ciolli (2023) describe esta problemática. Así mismo, se les ha inculcado a las nuevas generaciones que la salida laboral, el dinero, el éxito, se encuentra del lado de la tecnología casi exclusivamente. La disponibilidad de recursos financieros y la necesidad de desarrolladores en empresas tecnológicas durante los últimos años fue una de las razones de este auge.

3.6. No es necesario generar o buscar nuevos conocimientos.

El modelo reciente de negocio e información parecería ser el que han adoptado varias plataformas comerciales y el propio ChatGPT: aplicar o integrar lo que hacen otros; el único desafío consiste en mejorar la interfaz y los entrenamientos. Este modelo deja en desventaja a quienes producen bienes y servicios propios porque reciben menos incentivos, tienen más regulaciones y limitaciones. Si la remuneración, ya sea en sueldo para los empleados o bien en dinero prestado (interés en capital) para los empresarios se conduce principalmente para unos pocos sectores, otros sectores se podrían ver perjudicados. El sector de la alimentación, por ejemplo, es uno de los que no ha tenido grandes avances ni nuevos jugadores relevantes en el mercado internacional durante las últimas décadas, como sí lo ha tenido el sector tecnológico. La sobrevaloración de un sector por encima del resto genera desbalances en muchos ámbitos de la economía y de la sociedad. En una reciente publicación de Statista Research Department (2023), de las diez empresas con mayor capitalización de mercado, siete son tecnológicas o se basan en tecnología.

4. BUENAS PRÁCTICAS Y RECOMENDACIONES DIDÁCTICAS QUE PUEDAN SER UTILIZADAS EN EL AULA

La irrupción bastante reciente de los dispositivos móviles en términos históricos y la inclusión de servicios aplicando inteligencia artificial presentan una serie de oportunidades y desafíos a ser considerados en los ámbitos académicos y laborales por extensión. El desarrollo de la inteligencia artificial en los últimos años ha impulsado el uso de la tecnología chatbot en la educación. Pocos estudios resumieron la efectividad de los chatbots en la educación. Deng y Yu (2023) investigaron el efecto del aprendizaje asistido por chatbot en varios aspectos y cómo las diferentes variables moderadoras influyeron en la eficacia educativa. Los resultados mostraron que la tecnología chatbot ejerció un efecto medio a alto en los resultados generales del aprendizaje, independientemente de las variables moderadoras; es decir, la duración de la intervención, los roles de chatbot y el contenido de aprendizaje. Los chatbots podrían contribuir a mejorar el razonamiento, el logro más rápido de algunos aprendizajes; no obstante, se presentan dudas con respecto a la retención del conocimiento y el interés por continuar aprendiendo con el paso del tiempo, así mismo, se observaron efectos negativos en el pensamiento crítico y la motivación.

Por último, a continuación se incluyen algunas sugerencias que han resultado beneficiosas en la práctica docente y académica previamente abordada (Chinni, Lurati y Buela, 2023) y validada durante los ciclos académicos 2023-24:

- No fomentar la tecnodependencia. Desarrollar clases y metodologías de enseñanza que no sean totalmente dependientes de los recursos tecnológicos, fomentando el pensamiento crítico, las preguntas, las dudas, la participación y la sociabilización. Por ejemplo: uso de libros en papel, artículos científicos digitales provenientes de Journal o fuentes confiables, realizar debates, organizar presentaciones, organización de trabajos prácticos en grupos.
- Poner en valor el rol de mentor por parte de los docentes por medio de consignas, seguimiento y actividades organizadas dentro de la clase o currícula.
- Establecer pautas claras para el uso de recursos tecnológicos al inicio de la cursada y la evaluación o inclusión de los programas curriculares. Recordar las mismas al inicio de cada clase de ser necesario.
- Desarrollar el pensamiento crítico tendiente a validar los resultados y la búsqueda de fuentes o referencias.
- Fomentar y dar un marco para la creatividad propia y la exposición, ya sea en el desarrollo de actividades como en su presentación.
- Seleccionar o recomendar servicios que utilicen información referenciada y validada.

La reciente adopción e incorporación de Chatbot con inteligencia artificial en la educación y ámbitos laborales determinan que resulten necesarias nuevas líneas de investigación para ampliar el conocimiento sobre el impacto de las nuevas tecnologías y servicios en los diferentes componentes del aprendizaje.

5. CONCLUSIONES

Los servicios basados en inteligencia artificial han incorporado el concepto de tercerización e inmediatez del conocimiento por parte de los usuarios. Esta nueva concepción es un elemento nuevo e incierto en la vida cotidiana de las personas, y en especial de los estudiantes. El potencial de los Chatbots podría mejorar las experiencias de aprendizaje; sin embargo, su uso indebido y masivo, podría contribuir a empeorar el desempeño académico y el bienestar de los estudiantes. Los servicios basados en inteligencia artificial deberían incorporar la posibilidad de trazar o encontrar las fuentes de información utilizadas en sus respuestas o resultados; en tal sentido, debería cuantificarse el costo y los aspectos legales de emplear información y datos de terceros, al igual que los métodos tradicionales. Los conocimientos y la forma de aprendizaje no deberían gestionarse en forma anónima; por el contrario debería reconocerse la autoría, su procedencia.

En el ámbito académico, resulta posible incorporar mejoras tendientes a la autorregulación, fomentando el pensamiento crítico, preguntas claves, clarificar dudas y problemas, así como la participación y la sociabilización.

Desde el campo laboral se ha generado una nueva ola de aplicaciones y modas tendientes a asistir a los usuarios con chatbots, lo cual no siempre puede resultar beneficioso para las empresas, en casos que estas tecnologías resultan poco validadas en cuanto a veracidad en las respuestas y seguridad en los datos colectados y suministrados. Así mismo, no todos los clientes pueden resultar satisfechos al incorporar como única vía de comunicación o resolución de problemas los servicios automatizados.

6. REFERENCIAS

Arslan, Gökmen & Coşkun, Muhammet. (2021). Social Exclusion, Self-Forgiveness, Mindfulness, and Internet Addiction in College Students: a Moderated Mediation Approach. International Journal of Mental Health and Addiction. 10.1007/s11469-021-00506-1.

Aziz, Maryam & Chemnad, Khansa & Alharahsheh, Sanaa & Abdelmoneium, Azza & Baghdady, Ahmed & Ali, Raian. (2024). Depression, stress, and anxiety versus internet addiction in early and middle adolescent groups: the mediating roles of family and school environments. BMC Psychology. 12. 10.1186/s40359-024-01659-z.

Biblioteca Electrónica de Ciencia y Tecnología. http://www.biblioteca.mincyt.gob.ar/. Consulta del 1/3/2023 al 1/7/2024.

Biggest companies in the world by market value 2023. Statista Research Department. Consult June 12, 2023. Statista.com. https://www.statista.com/statistics/263264/top-companies-in-the-world-by-market-capitalization/

ChatGPT. https://chatgpt.com/. Consulta del 1/3/2023 al 1/7/2024.

Chinni, Guillermo Andrés; Lurati Irurzun, Horacio; Buela, Juan José. (2023). Exposición a la tecnología en pospandemia: ante la necesidad de moderar su uso para prevenir riesgos. XVI COINI 2023 – Congreso Internacional de Ingeniería Industrial – AACINI - UTN FRSN.

Ciolli, Joe. (Jun 6, 2023). Everyone is getting less productive, and that's a big problem for the economy. Business Insider. https://www.businessinsider.com/next-recession-economic-outlook-labor-productivity-negative-impact-workplace-trends-2023-6?utm_source=twitter&utm_medium=social&utm_campaign=business-sf

Cox, Daniel. (Jun 7, 2023). The price we'll pay for our AI future: more loneliness. Business Insider. https://www.businessinsider.com/chatgpt-ai-technology-americans-loneliness-crisis-mental-health-friendship-recession-2023-5.

Deng, X., & Yu, Z. (2023). A meta-analysis and systematic review of the effect of chatbot technology use in sustainable education. Sustainability, 15(4), 2940.

Google Académico. https://scholar.google.es. Consulta del 1/3/2023 al 1/7/2024.

Google Argentina. https://www.google.com.ar/. Consulta del 1/3/2023 al 1/7/2024.

Kósa, Gábor & Feher, Gergely & Horvath, Lilla & Zádori, Iván & Nemeskéri, Zsolt & Kovacs, Miklos & Fejes, Éva & Meszaros, Janos & Banko, Zoltan & Tibold, Antal. (2022). Prevalence and Risk Factors of Problematic Internet Use among Hungarian Adult Recreational Esports Players. International Journal of Environmental Research and Public Health. 19. 3204. 10.3390/ijerph19063204.

Kuss, D. J., & Lopez-Fernandez, O. L. (2016). Internet addiction and problematic internet use: A systematic review of clinical research. World Journal of Psychiatry, 6(1), 143–176. https://doi.org/10.5498/wip.v6.i1.143.

Kuss, D. J., Griffiths, M. D., Karila, L., & Billieux, J. (2014). Internet addiction: A systematic review of epidemiological research for the last decade. Current Pharmaceutical Design, 20(25), 4026–4052. https://doi.org/10.2174/13816128113199990617

Lozano-Blasco, Raquel & Quílez Robres, Alberto & Soto, Alberto. (2022). Internet addiction in young adults: A meta-analysis and systematic review. Computers in Human Behavior. 130. 107201. 10.1016/j.chb.2022.107201.

Milano, Juan José F. (2020). La vocación humana del hombre. Lumen.

Poli, R. (2017). Internet addiction update: Diagnostic criteria, assessment and prevalence. Neuropsychiatry, 7(1), 4–8. https://doi.org/10.4172/Neuropsychiatry.1000171.

RAE informa. Término *pospandemia*. https://twitter.com/RAEinforma/status/1255527723486904320?lang=es

"SIMULACIÓN NUMÉRICA DEL ENSAYO DE TRACCIÓN SIMPLE Y SU USO COMO COMPLEMENTO EN LA FORMACIÓN POR COMPETENCIAS EN CARRERAS DE INGENIERÍA"

Claudio A. Careglio[a]; Pablo S. De Simone[a]; Mauricio A. Casarotto[a]; Mauricio C. Alvarez[a]; Eduardo M. Bringa[a,b]

[a]Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ingeniería, Centro Universitario, Parque Gral. San Martín, 5500 Mendoza, Argentina
ccareglio@uncu.edu.ar, pablo.desimone@ingenieria.uncuyo.edu.ar, mauriciocasarottoCAD@outlook.com.ar, carlos.alvarez@ingenieria.uncuyo.edu.ar, ebringa@yahoo.com
[b]CONICET, 5500 Mendoza, Argentina

RESUMEN

El ensayo de tracción simple es uno de los ensayos mecánicos destructivos más empleados para determinar propiedades características de los materiales. Desde el punto de vista de la formación de ingenieros, es de utilidad para la introducción de conceptos como los de tensión convencional y verdadera, etc. Por otro lado, la comprensión de propiedades mecánicas tiene implicancias en la práctica de la ingeniería; tanto en lo referente a diseño como en producción de bienes, mantenimiento e investigación. Esto implica, que dicho ensayo es de importancia en una formación con enfoque por Competencias. A pesar de la amplia utilización del ensayo de tracción en la formación práctica experimental, este brinda información sobre variables globales, dando poca información de variables locales, como distribuciones de deformaciones y tensiones. Por ello, es necesario incorporar herramientas complementarias que permitan movilizar e integrar saberes que contribuyan a comprender la respuesta mecánica de los materiales. Una manera de llevar adelante esto es mediante el empleo de experimentos numéricos del ensayo de tracción simple. En este trabajo, se presenta la simulación numérica mediante elementos finitos del problema de tracción simple para el caso de diferentes geometrías planas y distintos materiales; como herramienta para mejorar en alumnos de grado la integración de conocimientos y la formación por competencias en el área de la respuesta mecánica de los materiales y sus propiedades.

Palabras Claves: ensayo de tracción, formación por competencias, mecánica de materiales.

ABSTRACT

The simple tensile test is one of the most commonly used destructive mechanical tests to determine characteristic properties of materials. From the point of view of engineering education, it is useful for introducing concepts such as conventional and true stress, etc. On the other hand, understanding mechanical properties has implications in engineering practice; in relation to design and production of goods, maintenance and research. This implies that this test is important in education with Competency-based learning approach. Despite the wide use of tensile testing in experimental practical training, it provides information on global variables, giving little information on local variables, such as strain and stress distributions. Therefore, it is necessary to incorporate complementary tools that allow mobilizing and integrating knowledge that contributes to understanding the mechanical response of materials. One way to do this is through the use of numerical experiments of the simple tensile test. In this work, the numerical simulation using finite elements of the simple traction problem is presented for the case of different plane geometries and different materials; as a tool to improve the integration of knowledge and skills training in the area of mechanical response of materials and their properties in undergraduate students.

Keywords: simple tensile test, competency-based learning, materials mechanics.

1. INTRODUCCIÓN

Los ensayos mecánicos destructivos (Callister & Rethwisch, 2023; Askeland & Wright, 2022) son unos de los medios más empleados tanto en la industria como en investigación para caracterizar el comportamiento mecánico de los materiales. Entre los ensayos más empleados, pueden nombrarse el de tracción, compresión, flexión, y fatiga, entre otros. Dichos ensayos, permiten investigar la respuesta de los materiales frente a diferentes solicitaciones de carga y la forma en que fallan; como así también posibilitan conocer la vida útil de un componente de un sistema.

Entre los ensayos mencionados, uno de particular interés es el de tracción simple (Dieter, 1988; ASM, 2000; Chakrabarty, 2006; Meyers & Chawla, 2009; Hosford, 2010), ya que a partir de él se pueden determinar diferentes propiedades mecánicas (Callister & Rethwisch, 2023; Askeland & Wright, 2022), tales como módulo de elasticidad, tensión inicial de fluencia, resistencia estática a la tracción y tensión de rotura, entre otras. El conocimiento y comprensión de estas propiedades tiene consecuencias directas en el ejercicio cotidiano de la ingeniería, desde lo referente al diseño hasta la producción y mantenimiento, para industrias tales como la aeroespacial (Juwet et. al, 2024; Li & Li, 2024), automotriz (Ambriško & Pešek, 2024; Shim et. al, 2024), alimenticia (Irak, 2023; Raj et. al, 2023), etc.

Pese a su uso extendido, el mencionado ensayo llevado adelante en forma experimental proporciona información sobre variables globales del problema, tales como trayectorias de carga-desplazamiento (Malvern, 1969), pero suministra poca información acerca de variables locales tales como distribuciones de deformaciones, entre otros. Estas últimas variables son de vital importancia en la caracterización mecánica de materiales tales como los metales (Careglio et. al, 2016; Careglio, 2017).

Una manera en que pueden ser complementados los estudios experimentales de tracción es mediante simulaciones numéricas (Wilkins,1969; Needleman, 1972; Cabezas & Celentano, 2004; Careglio et. al, 2016), que permitirán relevar parámetros locales de las geometrías ensayadas. Simular este ensayo, independientemente de si se trata del tipo convencional ó real (Callister & Rethwisch, 2023; Askeland & Wright, 2022), implica tener en cuenta dos comportamientos bien diferenciados, análogamente a lo que sucede en el caso experimental. En el primero de ellos, la distribución de tensiones y deformaciones en la probeta es homogénea; mientras que en el segundo, se produce la localización de las deformaciones en la zona central y el estado de tensiones deja de ser homogéneo, apareciendo un cuello o estricción en la zona central de la misma (Bridgman, 1944; Davidenkov & Spiridonova, 1946). Asimismo, existen diferentes factores que pueden afectar los resultados, tales como distintas geometrías e imperfecciones (García Garino et. al, 2013; Careglio, 2017).

Por otro lado, el ensayo de tracción constituye una herramienta pedagógica indispensable que permite comprender de manera práctica conceptos teóricos y desarrollar habilidades experimentales. Lo anterior conlleva que, el mismo, constituya una herramienta fundamental para la formación relativa a la respuesta mecánica de materiales en carreras de ingeniería, con un Enfoque de Formación por Competencias y Aprendizaje Centrado en el Estudiante.

Cabe mencionar que, la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo, se encuentra actualmente en un proceso de transición de sus carreras de ingeniería a nuevos planes de estudios que sigan los Estándares de Acreditación de Segunda Generación, propuestos por el Consejo Federal de Decanos de Ingeniería de la República Argentina (CONFEDI, 2018), adoptándose en dicha unidad académica un Enfoque de Formación por Competencias (Tobón-Tobón et. al, 2010) y Aprendizaje Centrado en el Estudiante a partir del presente año. Esto implica desde el punto de vista institucional, entre otras cosas, incrementar las horas de formación práctica en áreas tales como la mecánica de materiales, lo que a su vez hace necesario incorporar nuevas herramientas que permitan movilizar e integrar saberes en dicha área a los futuros profesionales de la Ingeniería. Adicionalmente, los nuevos planes de estudios de la citada facultad promueven en forma específica la apoyatura de entornos virtuales de aprendizaje para los espacios curriculares de modalidad presencial.

Con el desarrollo del presente trabajo se espera contribuir a la formación por competencias en el área de mecánica de materiales, movilizando e integrando saberes en esta área en específica; empleándose para ello herramientas virtuales de aprendizaje a través del uso de simulaciones numéricas. En particular, se presenta la simulación numérica mediante elementos finitos del problema de tracción simple, llevadas adelante por un estudiante de grado, para el caso de diferentes geometrías planas y distintos materiales, utilizándose como un recurso didáctico complementario para la enseñanza de la mecánica de los materiales.

2. COMPRENSIÓN DEL CONCEPTO DE COMPETENCIAS EN EL ÁMBITO ACADÉMICO EN LA FORMACIÓN DE INGENIEROS.

La formación por competencias en el ámbito de la ingeniería ha ganado un lugar preponderante en la educación superior, gracias a su capacidad para preparar a los futuros ingenieros en el desarrollo de habilidades integradas y orientadas a la resolución de problemas. A diferencia de enfoques educativos tradicionales, donde el foco estaba en la acumulación de conocimientos teóricos, la educación por competencias pone el énfasis en la movilización de saberes en situaciones reales, donde los conocimientos, habilidades y actitudes se articulan para resolver problemas abiertos, contextualizados y complejos.

El concepto de competencia ha sido objeto de amplios debates, y no existe un consenso absoluto en torno a su definición en el ámbito académico. Sin embargo, según el Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI, 2018), una competencia es la capacidad de articular eficazmente un conjunto de esquemas mentales y valores, movilizando diversos saberes en un determinado contexto para resolver problemas profesionales. Esto implica que la competencia no se reduce a conocimientos teóricos, sino que incluye la capacidad de actuar de manera eficaz en contextos reales y diversos, poniendo en juego los recursos disponibles.

Uno de los ejes fundamentales de la formación por competencias es la resolución de problemas profesionales, un proceso que requiere la aplicación de conocimientos y habilidades en contextos específicos. En la ingeniería, los problemas que los egresados enfrentan son, en su mayoría, situaciones complejas, dinámicas y contextualizadas, que no pueden resolverse únicamente con soluciones memorizadas o predefinidas. El entorno en el que trabajan los ingenieros cambia continuamente, lo que exige un enfoque flexible y adaptable, capaz de integrar y movilizar conocimientos de diferentes áreas de la disciplina.

Para lograr que los estudiantes desarrollen estas competencias, la formación debe proporcionar oportunidades para que enfrenten situaciones reales y complejas desde el ámbito académico. En este sentido, la educación por competencias prepara a los ingenieros para manejar la incertidumbre, adaptarse a cambios y tomar decisiones eficaces. Esto requiere no solo la capacidad técnica, sino también el desarrollo de habilidades blandas como el trabajo en equipo, la toma de decisiones rápidas y la gestión del tiempo.

Un aspecto clave en la formación por competencias es la capacidad de los estudiantes para movilizar diversos saberes (saber, saber hacer, saber ser) en situaciones específicas. La competencia se demuestra a través de la actuación eficaz en un contexto real, donde los recursos que el profesional emplea no se utilizan de manera fortuita, sino con un propósito claro y orientado a la resolución del problema.

Guy Le Boterf (2010) sostiene que un profesional competente es aquel que, frente a una situación determinada, puede movilizar una combinación adecuada de recursos: conocimientos, habilidades técnicas, razonamientos, actitudes y comportamientos. La disposición de estos recursos es condición necesaria, pero no suficiente para ser considerado competente. El verdadero desafío está en la movilización efectiva de estos recursos, un aspecto que diferencia a los profesionales competentes de aquellos que solo acumulan conocimientos.

Este enfoque rompe con la lógica educativa tradicional, en la que se enseñaban conocimientos de manera aislada. En la formación por competencias, los saberes deben articularse e integrarse en la resolución de problemas profesionales. La propuesta pedagógica de una asignatura debe diseñarse en función de las competencias que se espera que los estudiantes adquieran, y las actividades de aprendizaje deben estar alineadas con este objetivo, proporcionando experiencias que exijan la movilización y la integración de los distintos recursos.

Otra característica esencial de la formación por competencias es la necesidad de una evaluación continua, en la que se valore no solo el dominio de los conocimientos teóricos, sino también la capacidad del estudiante para movilizar esos conocimientos en situaciones reales. La evaluación debe estar diseñada para integrar momentos en los que los estudiantes enfrenten situaciones problemáticas que exijan la movilización de recursos de manera eficaz.

Esto supone un cambio significativo en la forma en que se mide el aprendizaje. No se trata de evaluar únicamente la capacidad de los estudiantes para memorizar y reproducir conocimientos, sino de generar instancias en las que los futuros ingenieros demuestren su capacidad para integrar y articular sus saberes en contextos dinámicos. Así como se evalúa el dominio de los recursos, es igualmente necesario programar situaciones donde se ponga a prueba la competencia en su totalidad.

Los ingenieros formados bajo este enfoque son profesionales integrales, preparados para participar activamente en la transformación de la sociedad. Este modelo educativo prepara a los estudiantes para ser agentes de cambio, capaces de actuar en contextos reales y complejos, y de responder a los desafíos dinámicos que plantea la práctica profesional en la ingeniería.

Atendiendo a lo expresado con anterioridad la formación por competencias representa una transformación en la educación de los ingenieros, en donde el foco de atención es el estudiante que se encuentra inmerso en un proceso de enseñanza-aprendizaje basado en la resolución de problemas reales, abiertos y contextualizados. De este modo se promueve una articulación dinámica entre los saberes técnicos y las habilidades blandas preparando a los futuros profesionales para actuar de manera eficaz en su campo de profesional.

Además, este modelo educativo proporciona una formación equilibrada, en la que el saber, el saber hacer y el saber ser se articulan para formar profesionales completos. Los ingenieros no solo deben ser capaces de manejar herramientas técnicas, sino también de actuar en contextos dinámicos, tomando decisiones y resolviendo problemas con eficiencia técnica y económica sin descuidar los aspectos sociales y ambientales pertinentes. Este enfoque asegura que los egresados no solo estén técnicamente capacitados, sino también preparados para enfrentar los retos de un entorno laboral en constante cambio, siendo protagonistas del progreso social y económico.

3. SIMULACIÓN NUMÉRICA DEL ENSAYO DE TRACCIÓN SIMPLE

Para llevar adelante los experimentos numéricos se emplea el Método Elementos Finitos (Zienkiewicz & Taylor,1991), el cual es adecuado para simular problemas de mecánica del continuo como el del ensayo de tracción simple. Dado que la simulación del ensayo completo desde el estado final de carga hasta la fractura requiere de formación que va más allá a la presente en los planes de estudio de grado, es que para este trabajo se considera solamente el régimen elástico lineal del problema (Malvern, 1969). Por ejemplo, para simular e interpretar los resultados del ensayo completo se debería tener cierta formación en cinemática de grandes deformaciones (Malvern, 1969) como así también en los diferentes tipos de leyes de endurecimiento que existen para representar la respuesta mecánica del material.

En este trabajo se consideran se consideran geometrías con dos imperfecciones diferentes. Antes de imponer las imperfecciones la geometría perfecta tiene una longitud de l=60mm (Zhao et. al, 2010) con una relación $l/b=l/t=2$, siendo b y t el ancho y el espesor respectivamente. La primera imperfección (geometría 1) consiste en imponer a geometría perfecta una imperfección dada por una variación lineal del ancho de la misma, con una reducción máxima del 0,5% en la zona central de la misma. La segunda imperfección (geometría 2) considerada corresponde a una entalladura (Zhao et. al, 2010) con un radio r=5mm. En la Figura 1 se muestra en líneas llenas la geometría con la entalladura.

Para ambas geometrías, dada la simetría existente, se considera para el modelo numérico 3D sólo una octava parte de las mismas. En la Figura 1 puede apreciarse sombreado la 1/8 parte considerada para la geometría con entalladura, junto con los ejes coordenados correspondientes.

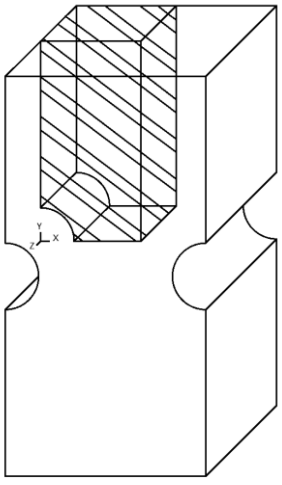


Figura 1 Geometría con entalladura y el 1/8 considerado para el modelo numérico.

En los dos casos la discretización espacial ha sido realizada con diez elementos en *l/2*, *b/2* y *t/2* respectivamente. La malla uniforme empleada para la primera geometría está constituida por 1000 elementos del tipo hexaedro, mientras que la segunda está formada por 2000 elementos del mismo tipo. En la Figura 2 se muestran las mallas de elementos finitos empleadas.

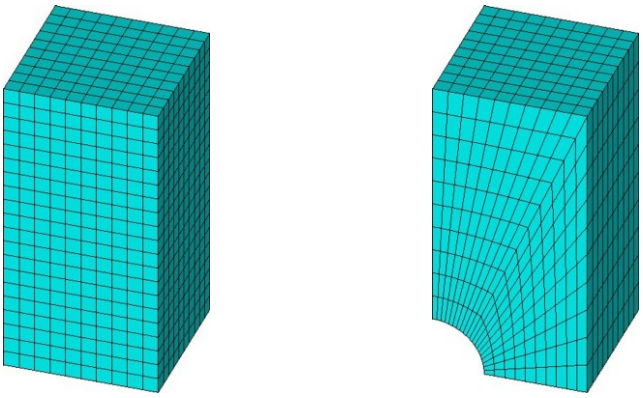


Figura 2 Mallas de elementos finitos para ambas geometrías.

Para satisfacer condiciones de simetría se impiden los desplazamientos u_x (coordenada *X*=0), u_y (coordenada *Y*=0), and u_z (coordenada *Z*=0) en los planos *yz*, *xz*, y *xy*, respectivamente. Para simular la tracción se aplican desplazamientos verticales u_y en la cara superior (plano *xz*) hasta alcanzar un valor de elongación del 0,5% de l/2 para el estado final de carga investigado.

Para los experimentos numéricos se emplean dos materiales lineales isótropos, el primero de ellos (material 1) con propiedades elásticas como las de un acero; mientras que el segundo (material 2) posee las propiedades de una aleación de alta entropía o HEA (Beyramali Kivy et. al, 2019) por sus siglas en inglés. Las HEA se encuentran caracterizadas en muchos casos por una gran resistencia mecánica y una alta dureza, entre otras propiedades que las hacen atractivas para la ingeniería. Sin embargo, al encontrarse entre materiales relativamente nuevos, no se conocen con exactitud muchas de sus respuestas frente a estímulos provenientes de la aplicación de carga o temperatura, etc. Desde el punto de vista de la formación por competencias se introduce este segundo material con el objeto de formar al alumno no sólo en materiales de uso amplio, sino también en aquellos que podrían ser de uso habitual en el futuro.

En la Tabla 1 se presentan las propiedades del material 1 (Budynas, R. & Nisbett, J.,2012), mientras que en la Tabla 2 se muestran las del material 2 (Rodriguez et. al, 2021.), siendo *E* el módulo elástico y ν el módulo de Poisson.

Tabla 1 Propiedades elásticas del material 1.

Propiedad	Valor
E	207GPa
ν	0,29

Tabla 2 Propiedades elásticas del material 2.

Propiedad	Valor
E	100GPa
ν	0,38

En las Figuras 3 y 4 se observa la configuración deformada junto con los contornos de deformación total de von Mises para ambas geometrías, mostrándose en cada una de estas figuras los resultados correspondientes material 1 a la izquierda y los del material 2 a la derecha. En todos los casos los valores de deformación corresponden al estado final de carga investigado. En particular, en la Figura 3 en los resultados correspondientes a la imperfección con variación lineal en el ancho, pueden observar

algunas diferencias en la distribución de las deformaciones entre ambos materiales. Con respecto a la Figura 4, para la geometría con entalladura, puede observarse que la influencia de las propiedades del material en la distribución y penetración de las deformaciones son mayores en comparación a lo que ocurre con la geometría 1 (Figura 3).

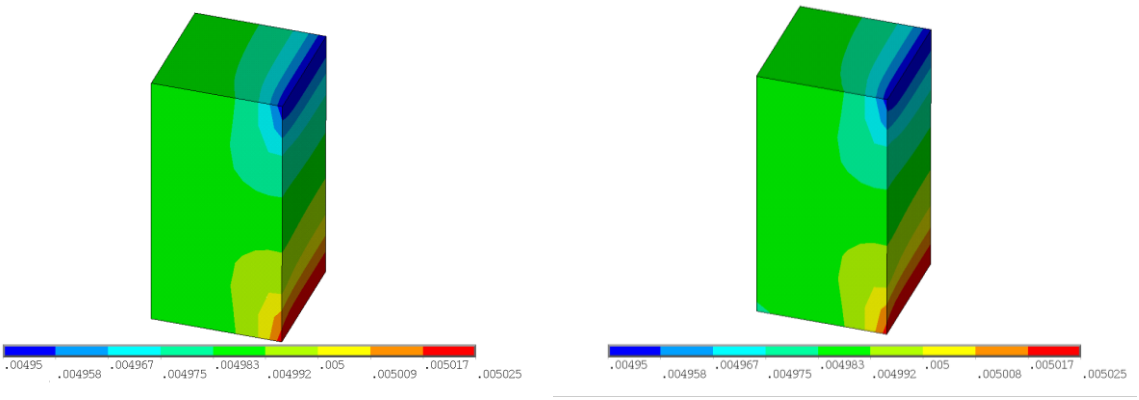


Figura 3 Contornos de deformación total para el material 1 (izq.) y 2 (der.) para la geometría 1 para el estado final de carga investigado

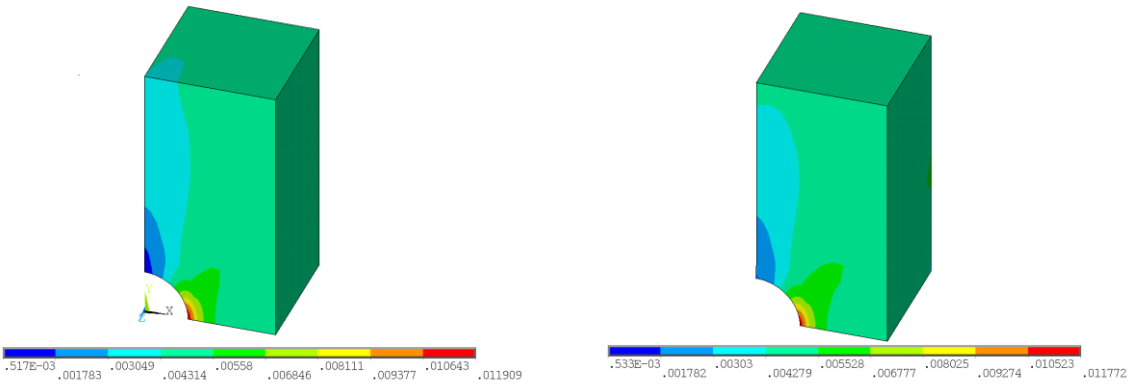


Figura 4 Contornos de deformación total para el material 1 (izq.) y 2 (der.) para la geometría 2 para el estado final de carga investigado

Para ahondar en el análisis anterior se comparar nuevamente los contornos de deformación de von Mises para ambas geometrías y ambos materiales para el mismo estado de carga que el anterior, pero desde el plano de simetría *yz*. En particular, la Figura 5 corresponden a los valores obtenidos para la geometría 1, mientras que los de la geometría 2 se muestran en la Figura 6. Con respecto a la Figura 5, se compara un mismo valor en la coordenada *Y*, es decir en la altura, puede observarse que un mismo contorno de deformaciones se encuentran más desarrollado en el material 1 que en el 2 para un mismo valor de *Y*. Por otra parte, para la geometría 2 en la Figura 6, las diferencias entre ambos materiales son más apreciables que para el caso de la geometría 1, en cuanto a la distribución de los contornos de deformación entre los materiales 1 y 2; encontrándose más desarrollado el contorno de mayor deformación en el material 1 que en el 2. Además, si se compara un mismo material para la geometría 1 y 2 puede apreciarse, como era de esperarse, una mayor influencia de la imperfección de la geometría 2 en la forma y distribución de las deformaciones.

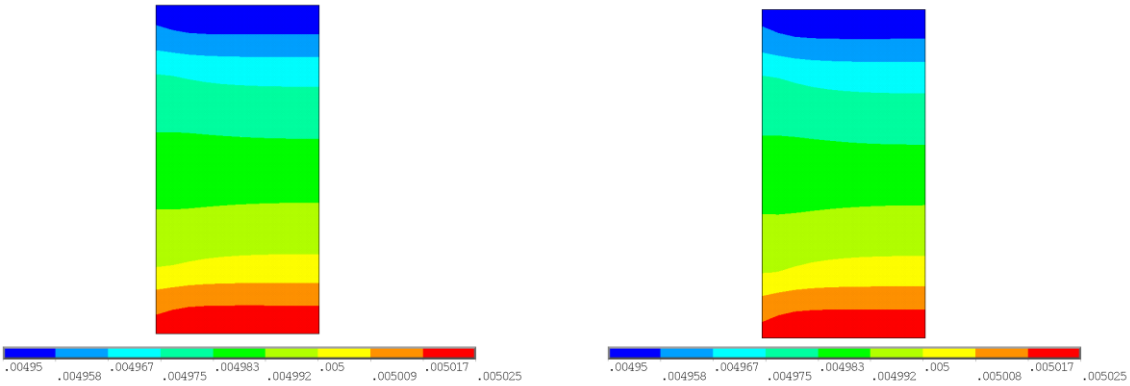


Figura 5 Contornos de deformación total en el plano de simetría yz para el material 1 (izq.) y 2 (der.) para la geometría 1 para el estado final de carga investigado

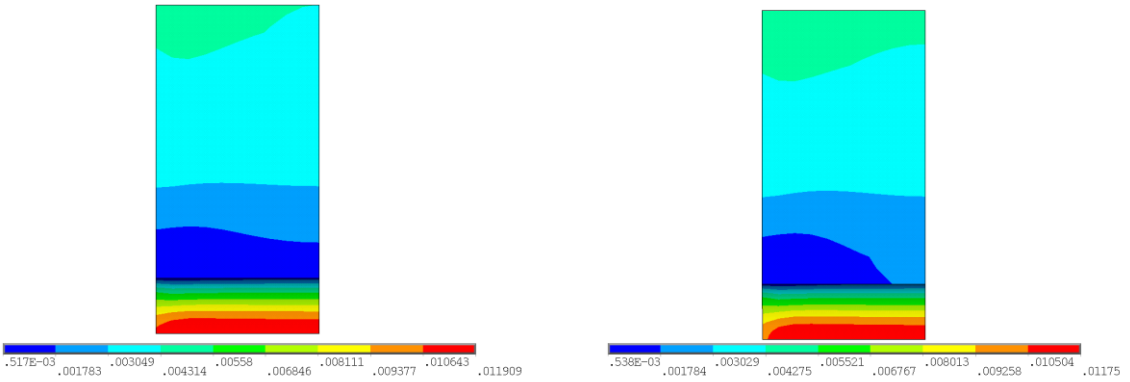


Figura 6 Contornos de deformación total en el plano de simetría yz para el material 1 (izq.) y 2 (der.) para la geometría 2 para el estado final de carga investigado

4. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha simulado en régimen elástico el problema de tracción simple, como un medio para integrar conocimientos y complementar los saberes alcanzados en forma experimental; contribuyéndose a la mejora de la calidad educativa en la formación por competencias en carreras de ingeniería y en lo relativo a la enseñanza de propiedades mecánicas de los materiales. Cabe mencionar que, la metodología llevada adelante, es fácilmente escalable a un número mucho mayor de alumnos a través de un formato de trabajo práctico ó incluso a aprendizaje basado en proyectos abordado en forma de grupos para problemas más complejos.

En particular, se ha abordado la respuesta mecánica de diferentes materiales, como así también la influencia de distintas imperfecciones geométricas en dicha respuesta. Se han considerado materiales con distintos parámetros constitutivos; el primero de ellos, con propiedades de un material de uso habitual en la industria; mientras que el segundo posee propiedades de nuevos materiales que se están empezando a utilizar en aplicaciones de ingeniería.

Asimismo, para llevar adelante los experimentos numéricos se ha realizado también formación acerca de los conceptos principales del Método de Elementos Finitos y las etapas de preproceso, proceso y postproceso del mencionado método.

Por otra parte, puede mencionarse que las simulaciones como la realizada en el presente caso permiten a los estudiantes movilizar el saber de manera práctica dando la oportunidad de experimentar cómo los diferentes principios funcionan en situaciones realistas, lo que facilita la comprensión profunda de conceptos abstractos. Estas pueden recrear problemas complejos y contextualizados, lo que ayuda a desarrollar competencias en la toma de decisiones, análisis crítico y solución de problemas técnicos.

Esto contribuye con el desarrollo de Habilidades de Diagnóstico y Experimentación donde los estudiantes pueden diagnosticar y probar soluciones a problemas sin las limitaciones del entorno físico, como el costo o el tiempo. Esto promueve el ensayo y error en un entorno controlado, lo que les permite aprender de sus errores y experimentar con diferentes enfoques sin riesgo.

Además, se encuentra presente la integración de saberes multidisciplinarios. Este tipo de prácticas permiten que los estudiantes combinen conocimientos de diversas asignaturas básicas (matemáticas, física, química, etc.) y los utilicen de manera integrada en un solo escenario, promoviendo el desarrollo de competencias transversales y la habilidad de movilizar recursos de diferentes áreas.

Los estudiantes asumen un papel activo en su propio proceso de aprendizaje. Esto les permite desarrollar autonomía, ya que deben tomar decisiones por su cuenta, analizar sus resultados y ajustarlos en base a los errores o éxitos obtenidos. Este enfoque contribuye a que el estudiante sea el protagonista de su aprendizaje, una característica clave en la formación por competencias.

Las simulaciones de estas prácticas proporcionan un medio eficaz para evaluar competencias. Los docentes pueden observar cómo los estudiantes integran y movilizan conocimientos para resolver un problema simulado, lo que les permite evaluar de manera directa las competencias técnicas y habilidades blandas desarrolladas a lo largo de la carrera.

En un mundo cada vez más digitalizado, las simulaciones también desarrollan competencias relacionadas con el manejo de herramientas y software específicos de simulación utilizados en el campo de la ingeniería. Estas competencias son cada vez más relevantes en el ámbito profesional, donde la tecnología digital y los modelos virtuales son esenciales para la innovación y el desarrollo técnico.

Se puede decir que las simulaciones aportan una herramienta poderosa para el desarrollo de competencias en ingeniería, y la preparación de los estudiantes para enfrentar de manera eficiente los desafíos del entorno profesional.

Las actividades como la planteada en el presente trabajo permite plantear y experimentar con diferentes escenarios en la resolución de problemas, además de promover la toma de decisiones informada basada en resultados cuantitativos. Así, se desarrollan competencias no solo técnicas, sino también cognitivas y actitudinales, como la adaptación a entornos cambiantes y la capacidad de análisis crítico, elementos esenciales para los ingenieros en su futuro profesional. Las simulaciones numéricas permiten a los estudiantes enfrentarse a desafíos prácticos de manera flexible, mejorando su preparación para resolver problemas de manera eficiente.

5. REFERENCIAS

Ambriško, Ľ., & Pešek, L. (2024). Non-contact evaluation of deformation characteristics on automotive steel sheets. *Metals*, 14(5), 566.

Askeland, D. R & Wright, W. J. (2022). *Ciencia e ingeniería de materiales: con base en el Sistema Internacional de Unidades (SI)*. Ciudad de México. Cengage Learning.

ASM (2000). ASM Handbook: Mechanical testing and evaluation.*ASM International*, 8.

Beyramali Kivy, M., Hong, Y., & Asle Zaeem, M. (2019). A review of multi-scale computational modeling tools for predicting structures and properties of multi-principal element alloys. *Metals*, 9(2), 254.

Bridgman P. W. (1944). The stress distribution at the neck of a tensile specimen. *Transactions of the American Society of Metals*, 32, 553–574.

Budynas, R. & Nisbett, J. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México D.F., Mc Graw Hill.

Cabezas E. E. & Celentano D. J. (2004). Experimental and numerical analysis of the tensile test using sheet specimens. *Finite Elements in Analysis and Design*, 40(5-6), 555–575.

Callister, W. D. & Rethwisch, D. G. (2023). *Ciencia e ingeniería de materiales*. Barcelona. Reverté.

Careglio, C.., Celentano, D., García Garino, C. & Mirasso, A. (2016). Global and local mechanical responses for necking of rectangular bars using Updated and Total Lagrangian finite element formulations. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016(1), 1729638, 1-12. 10.1155/2016/1729638.

Careglio, C. (2017). Respuesta mecánica global y local en problemas elastoplásticos con grandes deformaciones. *Ph.D thesis*, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina.

Chakrabarty, J. (2006). *Theory of plasticity*. Oxford. Elsevier Butterworth-Heinemann.

Consejo Federal de Decanos de Ingeniería – CONFEDI (2018). Propuesta de estándares de segunda generación para la acreditación de carreras de Ingeniería en la República Argentina. *Libro Rojo de CONFEDI*, Giordano Lerena, R. y Cirimelo, S. (Editores). Universidad FASTA Ediciones. https://confedi.org.ar

Davidenkov N. N. & Spiridonova N. I. (1946). Analysis of the state of stress in the neck of a tension test specimen, *Proceedings of American Society of Testing Materials*, 46, 1147–1158.

Dieter, G. (1988). *Mechanical metallurgy, SI metric edition*. Series in Materials Science and Engineering. McGraw-Hill.

García Garino, C., Pacini, E., Monge, D., Careglio, C. & Mirasso,A. (2013). Computational mechanics software as a service project. *Journal of Computer Science & Technology*, 13(3), 160-166.

Le Boterf, G. (2010). *Repenser la compétence: pour dépasser les idées reçues: quinze propositions*. éditions Eyrolles.

Hosford, W. (2010). *Mechanical behavior of materials*. Cambridge. Cambridge University Press.

Irak, E. A. (2023). Developing the mechanical properties of bio-based films used in food packaging industry. *Master thesis*. Izmir Institute of Technology, Turkey.

Juwet, T., Luyckx, G., Lamberti, A., Creemers, F., Voet, E. & Missinne, J. (2024). Monitoring of composite Structures for re-usable space applications using FBGs: The influence of low earth orbit conditions. *Sensors*, 24(1), 306.

Li, Z., & Li, W. (2024). Study on tensile strain of carbon fiber triaxial woven fabric/thermoplastic polyurethane flexible textile composites. *Polymer Composites*, 45(3), 2337-2351.

Malvern, L. (1969). *Introduction to the mechanics of a continuous medium*. New Jersey. Prentice-Hall.

Meyers, M. & Chawla, K. (2009). *Mechanical behavior of materials*. Cambridge. Cambridge University Press.

Needleman A. (1972). A numerical study of necking in circular cylindrical bar. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*. 20(2), 111–127.

Raj, V.A., Sankar, K, Narayanasamy, P., Moorthy, I.G., Sivakumar, N., Rajaram, S.K., Karuppiah, P., Shaik, M.R., Alwarthan, A., Oh, T.H. & Shaik, B. (2023). Development and characterization of bio-based composite films for food packing applications using boiled rice water and pistacia vera shells. *Polymers*, 15(16), 3456.

Rodriguez, S., Lang, E., Argibay, N., Kustas, A., Barrick, E., Jones, M., Arata, E., Walker, C., Monroe, G., Whetten, S., De Smet, D. & Lim, H. H. (2021). Application of refractory high entropy alloys for higher reliability and higher-efficiency Brayton cycles and advanced nuclear reactors. *Sandia Report*, SAND2021-11377

Shim, Y. D., Kim, J., Kim, C., Park, J., Yang, D. W., & Lee, E. H. (2024). Evaluation of mechanical properties considering uncertainties for hairpin coils in electric vehicle motor manufacturing. *IEEE Access,* 12, 45318-45330.

Tobón-Tobón, S., Pimienta Prieto, J. & García Fraile, J. (2010*). Secuencias didácticas: aprendizaje y evaluación de competencias*. México. Pearson Educación.

Wilkins, M. L. (1968). *Third progress report of light armor program*. Lawrence Livermore National Laboratory. University of California.

Zienkiewicz, O.C. & Taylor, R.L. (1991). *The Finite Element method*. McGraw Hill, 1-2.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo brindado a través del Proyecto Bienal B003-T1 de SIIP- Universidad Nacional de Cuyo. También agradecen a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo al proyecto Proyecto TIPO A (5A Mecatrónica).

COINI 2024

UTN·La Plata

XVII CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y AFINES

LIDERANDO EL DESARROLLO DE LA INDUSTRIA 5.0

El COINI es el principal encuentro académico y profesional de Ingeniería Industrial y afines de Argentina y la región. Un espacio para el intercambio de conocimientos, experiencias e innovación, orientado a los desafíos de la **Industria 5.0.**

EJES TEMÁTICOS

- AMBIENTE Y SOSTENIBILIDAD
- OPERACIONES Y LOGÍSTICA
- ORGANIZACIONES Y ECONOMÍA
- INDUSTRIAS DEL CONOCIMIENTO
- PRODUCTO E INNOVACIÓN
- EDUCACIÓN EN INGENIERÍA INDUSTRIAL



ORGANIZAN

UTN·La Plata

aacini
ASOCIACIÓN ARGENTINA DE CARRERAS DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

www.coini.org.ar | info@coini.org.ar | /coini.argentina | @coini.argentina | /coini-argentina