



aacini
Asociación Argentina de Carreras de
Ingeniería Industrial

ISSN 2694-060X

N° 10

Riii

Revista
Internacional
Ingeniería
Industrial

Febrero 2024 / Agosto 2024

www.aacini.org

Asociación Argentina de Carreras de
Ingeniería Industrial y Afines
San José 304, PB. A, Capital Federal Tel: (011) 4304-7903/7900



Número 10 - 4(1) – febrero a agosto de 2024

ISSN 2684-060X

Contenido

EDITORIAL – Ingeniería Industrial: Liderando el Desarrollo de la Industria 5.0 - V –

Artículos premiados - COINI

Madurez Tecnológica en PyMEs Industriales de Olavarría: perspectivas de su preparación para la Transformación Digital – 1 –

Digitalización de procesos financieros mediante la implementación de la metodología ágil Kanban – 16 –

Transformación digital de los procesos internos de una empresa de alimentos panificados – 28 –

Análisis de redes de centros de atención primaria de la salud empleando simulación numérica y algoritmos genéticos – 43 –

La aplicación de la exergía al análisis de ciclo de vida. Un enfoque integrador para la medición de la sustentabilidad – 57 –

Estrategias y resultados en el seguimiento de cohortes: una mirada introspectiva para la carrera de ingeniería industrial en la UNMDP – 74 –

Artículos

Análisis ergonómico y estrategias para el cumplimiento de la NOM-036-1-STPS-2018 en tres áreas de producción y un área administrativa en una empresa metalmecánica agroindustrial mexicana – 85 –

*¿Cómo ayudamos al medio ambiente desde la cadena de suministro?
Estudio de procesos productivos a fin de integrar la cadena de
suministro con eficiencia ambiental – 107 –*

Reseñas de Libros

Ingeniería Industrial: Evolución, Empresa y Estrategia – 122 –

** Imagen de tapa generada con inteligencia artificial*

Asociación Argentina de Carreras de Ingeniería Industrial y Afines
www.aacini.org / San José 964, PB. A, Capital Federal
Tel: (011) 4304-7997/9960

AACINI – Revista Internacional de Ingeniería Industrial

Número 10 - 4(1) – febrero a agosto de 2024

Editor y Director:

Dr. Ing. Mario Lurbe (Universidad Tecnológica Nacional - FRSC - Argentina)

Editores asociados:

Mg. Ing. Antonio Morcela (Universidad Nacional de Mar del Plata - Argentina)

Ing. Juan Saenz (Universidad Tecnológica Nacional - FRSR - Argentina)

Editora invitada (Coordinadora EVI):

Lic. María Laura Gallego (Universidad Tecnológica Nacional – FR San Nicolás - Argentina)

Comité Editorial:

Esp. Ing. Miguel Ángel Risetto (Universidad Tecnológica Nacional - FRA - Argentina)

Dr. Ing. Fernando Salazar Arrieta (Pontificia Universidad Javeriana - Colombia)

Mg. Ing. Iván Baron (Universidad Tecnológica Nacional - FRSR - Argentina)

Dr. Ing. Kazuo Takaeyama (Sociedade Educacional de Santa Catarina - Brasil)

Dra. Ing. Gloria Esther Valdivia Camacho (Universidad Nacional de Ingeniería - Perú)

Mg. Ing. Alejandro Mohamad (Universidad Católica Argentina - Argentina)

MSc Mech Eng., MBA Sergio Oscar Rinland (Equipmake Ltd, UK)

Dr. Ing. Jorge Bauer (Technische Universität Wien - Austria)

Pares Evaluadores del presente número:

Alejandra María Esteban

Ariel Morbidelli

Bruno Romani

Carlos Roberto Ibáñez Juárez

Cecilia Edith Csernoch

Gabriel Baquela

German Horacio Rossetti

Teodoro Alarcon Ruiz

Gisela Pelozo

Jésica Romero

Laura Bárbaro

Lucas Pietrelli

Maria Laura Risiglione

Otero, Margarita

Rene Sanjuan Galindo

Editorial - Ingeniería Industrial: Liderando el Desarrollo de la Industria 5.0

En el camino hacia un mundo cada vez más tecnológico, la ingeniería industrial se ha posicionado no solo como un pilar en el desarrollo y la eficiencia de la producción, sino también como un agente de cambio con una visión integral y humana. La evolución de la Industria 5.0, que va más allá de la automatización y digitalización para centrarse en una industria sostenible y centrada en el bienestar humano, es una muestra de los desafíos y oportunidades que se presentan para los profesionales del área. En este contexto, la ingeniería industrial no solo responde a las demandas de la sociedad moderna, sino que las anticipa y lidera, adaptándose a las transformaciones tecnológicas y políticas que afectan tanto a la industria como a las personas.

Este liderazgo no surge por casualidad; es el resultado de una vocación de servicio y una constante actualización que la disciplina ha demostrado durante décadas. Hoy, las y los ingenieros industriales encaran retos como el cambio climático, la transición hacia economías sostenibles y la necesidad de una integración profunda de tecnologías avanzadas, sin perder de vista el impacto en la vida humana. Esta vocación humanista es la esencia de la Ingeniería 5.0, que no se limita a optimizar procesos, sino que busca crear entornos de trabajo más inclusivos y sostenibles.

Una Carrera Comprometida con los Retos del Siglo XXI

La Ingeniería Industrial ha evolucionado en su rol y hoy va más allá de las fronteras de la gestión y optimización para ser una carrera profundamente comprometida con los cambios sociales, políticos y económicos. La Asociación Argentina de Carreras de Ingeniería Industrial y Afines (AACINI) ha sido un actor fundamental en este proceso, promoviendo la cooperación internacional y el fortalecimiento académico entre las diversas instituciones de enseñanza en el país. Desde su creación en 2011, AACINI ha trabajado incansablemente para establecer vínculos con instituciones de todo el mundo, fomentando el intercambio de conocimientos, la innovación en los enfoques de enseñanza y la actualización constante de los profesionales en el área.

El Congreso Internacional de Ingeniería Industrial y Afines (COINI), las reuniones periódicas de la Comisión Directiva de AACINI, los Encuentros Nacionales de Directores de Carrera, las publicaciones periódicas y las actividades promovidas por todas las secretarías, han brindado un espacio para compartir y discutir avances en áreas críticas como la transformación digital, la logística sostenible y la optimización de recursos. Estos lugares de encuentro han sido escenarios para el aprendizaje y la colaboración interdisciplinaria, abordando las problemáticas actuales con miras a una industria más colaborativa y adaptativa. Es en estos espacios donde se construyen puentes para la investigación conjunta y se identifican oportunidades de desarrollo en diversos sectores, desde la manufactura y la logística hasta la gestión ambiental y la sostenibilidad.

La Revolución Tecnológica: Un Aliado y un Desafío

La tecnología ha transformado radicalmente la manera en que se gestionan las operaciones industriales. La automatización y la digitalización ya no son conceptos nuevos; hoy hablamos de inteligencia artificial, Internet de las Cosas (IoT), gemelos digitales y una integración digital completa que permite tomar decisiones en tiempo real y optimizar procesos con una precisión antes inimaginable.

La Ingeniería Industrial ha abrazado estos avances y trabaja incansablemente en adaptarse y aprovechar sus ventajas.

Pero esta adaptación no se da sin desafíos. La dependencia creciente de la tecnología plantea interrogantes sobre la privacidad, la ciberseguridad y la ética en el uso de datos, temas que están en la agenda de AACINI y de los profesionales del área.

Además, existe la necesidad de adaptar la formación académica a estas realidades para que los futuros profesionales estén mejor preparados para el uso de estas herramientas y para comprender sus implicancias éticas.

En respuesta a esta necesidad, AACINI ha promovido espacios de diálogo y formación, donde se discuten no solo los aspectos técnicos de estas herramientas, sino también su impacto en la sociedad y la importancia de una gestión responsable de la tecnología.

Un Contexto Político y Social en Transformación

Además de los cambios tecnológicos, el contexto político y social impone una serie de desafíos que la Ingeniería Industrial no puede ignorar. Las políticas de sostenibilidad, la legislación laboral y las normas de seguridad son solo algunos de los aspectos que moldean la práctica de la ingeniería industrial en el presente. La carrera se enfrenta a la necesidad de alinearse con estos cambios, promoviendo prácticas responsables y sostenibles que respeten tanto el entorno como a las personas involucradas en el proceso productivo.

La discusión del presupuesto universitario y la eficiencia en el uso de los recursos nos atraviesa y nos desafía. Nuestra carrera es la segunda en cantidad de ingresantes y aporta la mayor cantidad de graduados anualmente a nuestra querida Argentina, dictándose en casi 60 Facultades e Institutos universitarios, tanto públicos como privados. La realidad nos obliga a asumir un rol activo en la construcción de un futuro más equitativo y sustentable. La promoción de una industria que genere valor no solo económico, sino también social, es uno de los principales objetivos de esta nueva era.

Una Industria al Servicio de la Sociedad

El lema del COINI 2024, "Liderando el Desarrollo de la Industria 5.0," encapsula el espíritu de la carrera en la actualidad. Los profesionales del área estamos llamados a liderar una industria que no solo se enfoque en la productividad, sino que también considere el impacto de sus acciones en el entorno y en las personas.

La ingeniería industrial, en este sentido, se convierte en un motor de cambio hacia una economía más humana y sostenible, un modelo que responde a las demandas de una sociedad globalizada e interconectada.

La inclusión de temas como el ambiente y la sostenibilidad, las operaciones y la logística, las industrias del conocimiento, y la educación en ingeniería industrial en la agenda de la AACINI y del COINI es una muestra del compromiso del sector con una industria que sea no solo eficiente, sino también responsable. Nuestra carrera ha pasado de ser una disciplina técnica a ser una carrera con un profundo sentido de responsabilidad social, y este es uno de sus mayores logros.

Mirando hacia el Futuro

La Argentina y el mundo se mueven en un contexto de cambios vertiginosos, tanto tecnológicos como políticos, y debemos adaptarnos constantemente para enfrentar estos retos. La AACINI ha demostrado ser una organización comprometida con esta adaptación, promoviendo la actualización y la cooperación como elementos clave para enfrentar el futuro.

En esta edición de la revista, los artículos presentados reflejan este esfuerzo, con estudios sobre la transformación digital, la ergonomía, la sostenibilidad y la innovación en la industria. Cada artículo es un testimonio del trabajo y la dedicación de los profesionales que están transformando la industria y construyendo un futuro mejor para todos.

Vivimos tiempos donde los sistemas crujen y se tensionan, y los universitarios estamos llamados a ser protagonistas con compromiso y visión.

La Ingeniería Industrial, a través de la AACINI y particularmente en el próximo XVII COINI, está liderando el camino hacia una Industria 5.0 que pone a las personas y al planeta en el centro de todos nuestros objetivos.



Equipo Editorial

COMISIÓN DIRECTIVA AACINI

Presidente:	Rubén Mario LURBE	UTN FRSC
Presidente Honorario:	Miguel Ángel RISSETTO	UTN FRA/RECT
Vice-Presidente:	Jorge Alejandro MOHAMAD	UCA CABA
Secretario General:	Pedro Alejandro BASARA	UTN/UNDAV
Pro-Secretario:	Julián Edgardo VELA	UTN FRA
Tesorero:	León Natalio HOROWICZ	UBA
1° Vocal Titular:	Eduardo Juan DE MARIA	UNLAM
2° Vocal Titular:	Adrián Guillermo HERZ	ITBA
3° Vocal Titular:	Federico MENDIZÁBAL	U MORÓN
4° Vocal Titular:	Diego Gastón SERRA	UNLZ
1° Vocal Suplente:	Nora Lucía LLADSER	UNPSJB
2° Vocal Suplente:	Jorge Eduardo ABET	UTN FRC
3° Vocal Titular:	Rodolfo Iván BARÓN	UTN FRSR
4° Vocal Suplente:	Oscar Antonio MORCELA	UNMDP
5° Vocal Suplente:	María Laura GALLEGOS	UTN FRSN
Revisor de Cuentas Tit.:	Graciela Susana NOYA	UNPSJB
Revisor de Cuentas Supl.:	Estela Mónica LOPEZ SARDI	UP

DIRECTORES DE CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y AFINES DE LA REPÚBLICA ARGENTINA

Mg. Ing. Sebastián Mur	Ing. Eduardo De María	Ing. Cesar Bustelo
Ing. Gustavo López Hermann	Ing. Juan González Montero	Lic. Jorge García
Ing. María de las Mercedes Augspach	Ing. Lucía Lladser	Ing. Pablo Quantín
Ing. Federico Walas	Ing. Gabriel Crespi	Mg. Ing. Jorge Eduardo Abet
Mg. Ing. Jorge Alejandro Mohaad	Ing. Luis Oscar Oviedo	Ing. Ricardo Bosco
Lic. Pablo Salvático	Ing. Marcelo Pelayo	Lic. María Dolores Gómez
Esp. Ing. Manuel Luis Zambrano Exhenique	Ing. Héctor Martinek	Ing. Sergio Cortese
Ing. Macarena Rodríguez Campos	Ing. Carlos Vecchi	Ing. Marcelo Gil
Ing. Alfredo Leiter	Mg. Ing. Antonio Morcela	Ing. David Espíndola
Dr. Ing. Anibal Cofone	Ing. Mario Mantulak	Ing. Víctor Cogno
Ing. Carlos Papini	Ing. Luis Raúl Feraboli	Dr. Ing. Mario Rubén Lurbe
Ing. Patricio González Viescas	Ing. Ricardo Jakulika	Ing. Aníbal Vallejo
Ing. Federico Mendizabal	Mg. Ing. Inés María Ranea Vega	Ing. Tomás M. Avetta
Ing. Oscar Waigold	Ing. María Eugenia Rímini	Mg. Ing. Rodolfo Iván Barón
Ing. Sergio Alberto Colombo	Ing. Pedro Juvenal Basualdo	Ing. Carlos Alzamendi
Ing. Sebastián Bianchi	Ing. Facundo Bianciotto	Ing. Alberto Nilo Butler
Ing. Enzo Judis	Ing. Nora Perotti	
Ing. Raúl Funes	Ing. Franco Chiodi	
Ing. Pablo De Simone	Dr. Ing. Diego Cafaro	
Ing. Miguel Benegas	Ing. Adrián Tomkovich	
Ing. Gustavo Alberto Lores	Ing. Oscar Spada	
	Ing. Carmelo Caparelli	
	Lic. Andrés Horacio Reale	
	Ing. José Guillermo Valvano	

Madurez Tecnológica en PyMEs Industriales de Olavarría: perspectivas de su preparación para la Transformación Digital

Roark, Geraldina Yesica

groark@fio.unicen.edu.ar

Perez Colo, Ivo

ivo.perez@fio.unicen.edu.ar

Vázquez, Manuel Ezequías

manuel.e.vazquez11.33@gmail.com

Saavedra Sueldo, Carolina

carolina.saavedra@fio.unicen.edu.ar

Berdun, Daniela Marisol

danielaberdun@hotmail.com

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (Argentina).

Fecha de recepción RIII: 10/04/2024

Fecha de aprobación RIII: 27/10/2024

RESUMEN

En el entorno actual, las PyMEs industriales enfrentan un desafío disruptivo: la integración y explotación de nuevas tecnologías digitales que amenazan su existencia. La transformación digital aplicada a sus modelos operativos y de negocios se vuelve crucial para fortalecer su competitividad y sostenibilidad en el mercado. En este contexto, es fundamental desarrollar métodos y herramientas que guíen a las empresas en la planificación de su transición hacia el nuevo paradigma productivo, alineando su estrategia de negocios con su estrategia de operaciones.

El objetivo de esta investigación consiste en determinar las posibilidades de adaptación de las PyMEs industriales a las soluciones tecnológicas proporcionadas por la Industria 4.0. Para tal fin, se realizó una primera investigación en el sector metalmeccánico de la ciudad de Olavarría mediante un relevamiento de las tecnologías utilizadas en cada una de las áreas principales de la empresa, en pos de identificar el nivel de preparación de sus organizaciones para afrontar el nuevo paradigma productivo de industria inteligente.

Los resultados revelan que el sector metalmeccánico de Olavarría se encuentra en un proceso incipiente de transformación digital debido principalmente a la brecha tecnológica, la escasa interconexión y comunicación entre máquinas, ciberseguridad y automatización limitada, y falta de talento especializado asociado, entre otros. La escasez de mano de obra calificada, el difícil acceso al financiamiento, la fluctuación de costos y la crisis cambiaria asociada a la volatilidad de los mercados, conforman los principales obstáculos para el desempeño de las actividades productivas del sector. Se destaca, además, la ausencia de una estrategia para gestionar recursos tecnológicos, incorporar nuevos desarrollos y capacitar a los empleados en los conocimientos y habilidades necesarios para implementar estas nuevas tecnologías. Los hallazgos de este estudio ofrecen perspectivas valiosas para la comunidad empresarial y contribuyen al avance del conocimiento en el campo de la transformación digital en las PyMEs.

Palabras Claves: madurez tecnológica; industria 4.0; PyMEs Industriales; sector metalmeccánico.

Technological Maturity in Industrial SMEs of Olavarría: perspectives on their preparation for Digital Transformation

ABSTRACT

In the current environment, industrial SMEs face a disruptive challenge: the integration and exploitation of new digital technologies that threaten their existence. Digital transformation applied to their operational and business models becomes crucial to strengthen their competitiveness and sustainability in the market. In this context, it is essential to develop methods and tools that guide companies in planning their transition to the new productive paradigm, aligning their business strategy with their operational strategy.

The objective of this research is to determine the possibilities of adaptation of industrial SMEs to the technological solutions provided by Industry 4.0. To this end, a preliminary investigation was conducted in the metal-mechanic sector of the city of Olavarría through a survey of the technologies used in each of the main areas of the company, in order to identify the level of preparedness of their organizations to face the new productive paradigm of the smart industry.

The results reveals that the metal-mechanic sector of Olavarría is in an incipient process of digital transformation mainly due to technological gaps, limited interconnection and communication between machines, cybersecurity and limited automation, and lack of associated specialized talent, among others. The shortage of skilled labor, difficult access to financing, cost fluctuations, and the currency crisis associated with market volatility are the main obstacles to the performance of productive activities in the sector. Furthermore, the absence of a strategy to manage technological resources, incorporate new developments, and train employees in the necessary knowledge and skills to implement these new technologies is highlighted. The findings of this study offer valuable insights for the business community and contribute to the advancement of knowledge in the field of digital transformation in SMEs.

Keywords: technological maturity; industry 4.0: Industrial SMEs; metalworking.

Maturidade Tecnológica nas PMEs Industriais de Olavarría: perspectivas sobre sua preparação para a Transformação Digital

RESUMO

No ambiente atual, as PME industriais enfrentam um desafio disruptivo: a integração e exploração de novas tecnologias digitais que ameaçam a sua existência. A transformação digital aplicada aos seus modelos operacionais e de negócio torna-se crucial para fortalecer a sua competitividade e sustentabilidade no mercado. Neste contexto, é fundamental desenvolver métodos e ferramentas que orientem as empresas no planejamento da sua transição para o novo paradigma produtivo, alinhando a sua estratégia de negócio com a sua estratégia de operações.

O objetivo desta pesquisa é determinar as possibilidades de adaptação das PME industriais às soluções tecnológicas proporcionadas pela Indústria 4.0. Para tanto, foi realizada uma primeira investigação no setor metalmeccânico da cidade de Olavarría através de um levantamento das tecnologias utilizadas em cada uma das principais áreas da empresa, a fim de identificar o nível de preparação de suas organizações para enfrentar o novo paradigma produtivo da indústria inteligente.

Os resultados revelam que o setor metalúrgico de Olavarría se encontra num processo incipiente de transformação digital devido principalmente à lacuna tecnológica, à fraca interconexão e comunicação entre máquinas, à cibersegurança e à automação limitada, e à falta de talentos especializados associados, entre outros. A escassez de mão de obra qualificada, o difícil acesso ao financiamento, a flutuação dos custos e a crise cambial associada à volatilidade do mercado constituem os principais obstáculos ao desempenho das atividades produtivas do setor. Além disso, destaca-se a ausência de uma estratégia para gerir os recursos tecnológicos, incorporar novos desenvolvimentos e formar os colaboradores nos conhecimentos e competências necessários à implementação destas novas tecnologias. As conclusões deste estudo oferecem informações valiosas para a comunidade empresarial e contribuem para o avanço do conhecimento no domínio da transformação digital nas PME.

Palavras chave: maturidade tecnológica; indústria 4.0: PME industriais; metalurgia .

1. INTRODUCCIÓN

El panorama industrial global ha cambiado drásticamente en los últimos años debido al rápido desarrollo tecnológico y a la innovación en los procesos de producción (Maresova et al., 2018). La Cuarta Revolución Industrial, reconocida como Industria 4.0, brinda una nueva perspectiva a las empresas industriales generando una transformación sin precedentes mediante la integración de todas las áreas de producción a través de la digitalización y creación de nuevos canales de comunicación (Saavedra Sueldo et al., 2023). La adopción de tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial, el Internet de las cosas, gemelos digitales, la robótica y la analítica de datos ofrecen múltiples ventajas mediante la interconexión y comunicación entre máquinas, la recopilación y análisis de grandes volúmenes de datos y la automatización de procesos, generando aportes significativos en los niveles de productividad, en la reducción de costos y en la calidad de los bienes y servicios producidos (Osorio-Gallego et al., 2016). Este nuevo paradigma, influye sobre las estrategias y operaciones de las empresas, así como en la forma en que las organizaciones y los consumidores interactúan e intercambian valor (Ávila-Guerrero et al., 2023). Asimismo, permite la adopción masiva de producción personalizada, fomentando la innovación en los modelos de negocio (M. Aires et al., 2018). De esta forma, una rápida adaptación de las empresas a estas nuevas tecnologías es crucial para mantener su competitividad y aprovechar al máximo las oportunidades que brinda su implementación en la transformación de productos, servicios, operaciones e incluso en los modelos de negocio (Trujillo Valdiviezo et al., 2022). El éxito de su adopción dependerá de la forma en que tales tecnologías sean asimiladas e incorporadas a los sistemas productivos tradicionales actuales.

Diversas investigaciones han contribuido al concepto de Industria 4.0 describiendo aspectos teóricos y ofreciendo soluciones prácticas, aplicadas principalmente a grandes empresas. Sin embargo, escasas son las investigaciones que contemplan la utilización de tecnologías de la Industria 4.0 en pequeñas y medianas empresas (PyMEs), debido principalmente a las dificultades que estas exponen para integrar tecnologías digitales modernas y transformar sus procesos productivos (Bertola & Teunissen, 2018; Ingaldi & Ulewicz, 2020; Moeuf et al., 2018; Mon & Del Giorgio, 2021).

Según Somohano-Rodríguez et al. (2022), las principales limitaciones de las PyMEs para incorporar tecnologías avanzadas en sus procesos y operaciones se relacionan con la escasez de recursos y conocimientos, niveles bajos de digitalización, resistencia al cambio, mentalidad estratégica a corto plazo, dificultades para establecer colaboraciones con investigadores y problemas para acceder a fuentes de financiamiento. En la misma línea, un estudio realizado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), durante el periodo 2019-2020, reveló la percepción de las empresas encuestadas respecto a la transformación digital obteniendo como principales resultados la falta de conocimiento sobre las tecnologías disponibles, los procesos para su adopción y el potencial tecnológico que éstas representan para sus negocios particulares. Asimismo, estudios realizados por la CEPAL revelan una brecha significativa en la digitalización de las empresas radicadas en América Latina, lo cual podría agudizarse en los próximos años, considerando la acelerada evolución de la transformación digital a nivel mundial. En este sentido, el BID recomienda la pronta implementación de iniciativas tanto públicas como privadas para apoyar a las pequeñas y medianas empresas en la adopción de soluciones tecnológicas para potenciar sus operaciones (CEPAL, 2021; Dini & Stumpo, 2019; Ferraz et al., 2021).

Varios autores coinciden en que es necesario prestar especial atención a los factores que determinan el éxito de la transformación digital en PyMEs, tales como la excelencia tecnológica, la capacidad en tecnologías de la información (TI) y la alineación de éstas con el negocio. Sin embargo, para que estos factores se alcancen adecuadamente es imperioso que los líderes de las PyMEs posean una visión estratégica a mediano-largo plazo y una sólida comprensión de las implicancias de la transformación digital, lo que no se ajusta a la realidad de la mayoría de las empresas industriales de América Latina. Tal

situación complejiza el proceso de cambio de las PyMEs hacia el nuevo paradigma productivo debido principalmente a la dificultad que exponen sus dirigentes e integrantes para percibir plenamente los beneficios que dicha transformación suscita (Amaliyah, 2019; Somohano-Rodríguez et al., 2022).

En base a las razones expuestas, y teniendo en cuenta el papel crítico que desempeñan las PyMEs en la generación de empleo y en el aporte de valor a la economía mundial, es imprescindible establecer prácticas de gestión que orienten a estas empresas a través de las desafiantes transformaciones que deben emprender. Como señala (Calle Herencia, 2022), es necesario desarrollar un nuevo conjunto de capacidades de transformación digital que permitan a las organizaciones ser flexibles y responder de manera ágil a los cambios para transformar sus modelos operativos y generar nuevas propuestas de valor a los clientes.

En este sentido, resulta relevante investigar las capacidades de transformación digital que exponen las PyMES industriales para asimilar y aprovechar tecnologías modernas (González Varona, 2021). El análisis e identificación de la potencialidad tecnológica de una empresa aporta información significativa para obtener una visión holística de su situación actual y facilitar el desarrollo de planes de acción e inversión en TI de forma tal de aprovechar los recursos tecnológicos en línea con sus objetivos.

Ante este escenario, el presente estudio tiene como objetivo identificar, de forma integral y detallada, la capacidad tecnológica que poseen las PyMEs del sector metalmecánico de Olavarría, provincia de Buenos Aires, Argentina, a efectos de determinar su nivel de desarrollo tecnológico actual. Para ello, se utilizará una metodología adaptada del modelo de evaluación de TICs en la industria, creado por los autores (Mon & Del Giorgio, 2021). Los resultados obtenidos conformarán un insumo relevante para la dirección de las empresas participantes en el estudio, facilitando la toma de decisiones para su futura transformación digital (Somohano-Rodríguez et al., 2022). Asimismo, tales resultados conformarán, además, una base de datos crucial para las administraciones públicas municipales en pos de fortalecer la eficiencia y eficacia de sus programas dedicados a impulsar la Industria 4.0 en las PyMEs de la región. Cabe destacar que actualmente el Municipio de Olavarría y la dirección de los parques industriales de la localidad no disponen de información detallada y actualizada de las PyMEs industriales de la zona desde el año 2012, cuando se efectuó el último censo industrial, por lo que los datos aquí presentados representan un gran aporte para tales instituciones.

El trabajo está estructurado de la siguiente manera: en la siguiente sección se describen los principales conceptos abordados en el estudio. Seguidamente, se detalla la metodología utilizada para el desarrollo de la investigación. Luego, se presentan los resultados obtenidos y finalmente, se exponen las conclusiones del trabajo.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

En esta sección se abordarán brevemente los principales conceptos utilizados para efectuar el relevamiento de capacidades tecnológicas en las PyMEs metalmecánicas de Olavarría en pos de obtener perspectivas generales respecto al nivel de preparación que poseen para su inserción al nuevo paradigma de "fábricas inteligentes".

2.1 – Industria 4.0

La transformación digital consiste en el uso y apropiación de las tecnologías de información combinadas con la capacidad de liderazgo y el cambio organizacional para mejorar o cambiar radicalmente el desempeño y el modelo de negocio de las empresas (Ávila-Guerrero et al., 2023). El concepto de Industria 4.0 se mencionó por primera vez en el año 2011 en Alemania como una estrategia del gobierno centrada en lograr una mayor eficiencia operativa y productiva a través de la

automatización y el uso de alta tecnología en los diferentes procesos de negocio (Liao et al., 2017; Strandhagen et al., 2017; Xu et al., 2021).

Los pilares de esta evolución son, entre otros, los sistemas ciberfísicos y autónomos, el Internet de las cosas (IoT), los robots, la ciberseguridad, las grandes cantidades de datos para procesamiento (análisis de conjuntos de datos masivos, big data y computación en la nube), impresión aditiva (3D), simulaciones avanzadas y realidad virtual y aumentada (Kagermann et al., 2011; Liao et al., 2017; Xu et al., 2021). Estas tecnologías permiten la interconexión y la comunicación entre máquinas, la recopilación y análisis de grandes cantidades de datos, y la automatización de procesos.

De esta forma, la "Industria 4.0" representa el siguiente paso evolutivo en el sector industrial, caracterizado por la integración de tecnologías digitales para aumentar la eficiencia, mejorar la adaptabilidad y ofrecer soluciones más personalizadas a los clientes (M. Aires et al., 2018; Osorio-Gallego et al., 2016; Xu et al., 2021). Su implementación generará una gran transformación en tres puntos principales: la digitalización de la producción (sistemas de información para la gestión y la planificación de la producción), la automatización (sistemas para la adquisición de datos de las líneas de producción y el uso de máquinas) y la vinculación de las fábricas en la cadena de suministro integral (intercambio automático de datos e información en tiempo real).

La adopción de tecnologías 4.0 en PyMEs industriales permite alcanzar mayores niveles de productividad, reducir costos y mejorar la calidad de sus productos y servicios, proporcionando beneficios significativos en su competitividad y sustentabilidad en el mercado. Los sistemas industriales conformados con la integración de estas tecnologías permiten acceder a un modelo flexible de producción, basado en el intercambio de datos en tiempo real, generando de esta forma procesos de toma de decisiones de mayor eficiencia y valor agregado.

2.2 - Madurez tecnológica

El "Desarrollo Tecnológico" es un componente clave de la Industria 4.0. Este se refiere a la adopción y aplicación de las tecnologías avanzadas antes mencionadas que pueden transformar los procesos operativos y de fabricación (Brettel et al., 2014).

El nivel de desarrollo alcanzado por los sistemas industriales puede reconocerse bajo el término de madurez (Schumacher et al., 2016). Un modelo de madurez consiste en una herramienta útil para evaluar a las empresas y organizaciones y al mismo tiempo esbozar el camino que aún se necesita recorrer, a modo de hoja de ruta, para cumplir con los objetivos planteados por la organización y obtener ventajas competitivas. En el presente trabajo el concepto de madurez se aplica considerándolo como el grado de preparación para la implementación de tecnologías de la Industria 4.0, analizando los recursos de software, hardware e infraestructura utilizados en cada una de las áreas principales de la empresa.

Si bien en la literatura se observan una gran cantidad de modelos de madurez tecnológica propuesto por diferentes autores, en el contexto de la industria 4.0, son pocos los que presentan perspectivas o características aplicables a las particularidades de empresas PyMEs industriales. Asimismo, la mayor parte de los modelos propuestos son genéricos y no exponen la caracterización, el detalle y el ajuste adecuado a las particularidades propias de los diferentes sectores industriales (Ávila-Bohórquez & Gil-Herrera, 2022).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

La ciudad de Olavarría evidencia un fuerte perfil industrial con una contribución significativa en la actividad económica y en la generación de empleo productivo en la Provincia de Buenos Aires. Su

actividad principal consiste en la “Fabricación de productos minerales no metálicos”, la cual genera el mayor aporte en el Valor Bruto de Producción, a nivel local y regional. En segundo y tercer lugar se hallan las actividades de fabricación de “Alimentos y bebidas” y el sector “Metalmecánico”, dentro del cual se destaca la actividad de “Fabricación de productos de metal, excepto maquinaria y equipo” (Fundación Observatorio PyME, 2019; Roark et al., 2013). Con el propósito de obtener datos precisos y actualizados sobre las capacidades tecnológicas de las PyMEs metalmecánicas de Olavarría, se implementó una metodología rigurosa y estructurada, cuyas etapas se describen a continuación:

- ✓ **Diseño de la encuesta:** se diseña una encuesta exhaustiva que abarca diferentes aspectos de las capacidades tecnológicas de las empresas del sector metalmecánico. La encuesta consta de 47 preguntas, abordando temas como las TICs utilizadas en los procesos productivos, su función en las áreas funcionales específicas y las necesidades de recursos y tecnologías. Del total de preguntas, 26 corresponden al modelo de evaluación InTICs® desarrollado por los investigadores de la Universidad Nacional de la Matanza (Mon & Del Giorgio, 2021; Mon & Giorgio, 2023).
- ✓ **Validación de la encuesta:** la encuesta diseñada se somete a un riguroso proceso de validación por parte de expertos del sector metalmecánico. Estos expertos brindan valiosos comentarios y sugerencias para mejorar su contenido y claridad.
- ✓ **Muestra probabilística:** desde la Secretaría de Desarrollo Económico de la Municipalidad de Olavarría se obtuvo una base de datos con el listado de empresas industriales radicadas en los parques industriales de la localidad. En dicha base se identificaron un total de 141 empresas de las cuales un 17% (24) corresponden al sector metalmecánico. A dicha información se adicionaron 19 empresas que no estaban contempladas en la base proporcionada o no estaban radicadas en el parque industrial, dando una población total de estudio de 43 empresas metalmecánicas. Depurada la base de datos se procedió a la determinación del tamaño de la muestra, para lo cual se siguieron los principios de la técnica de muestreo aleatorio simple. En la Ecuación (1) se presenta la fórmula utilizada para estimar el tamaño de la muestra representativa, considerando una población (N) de 43 empresas, un nivel de confianza (Z) del 90%, una proporción de éxitos (p) de 0.5 y un error máximo admisible (e) de 0.1. El tamaño resultante fue de 27 PyMEs del sector metalmecánico de Olavarría. La selección de estas se realiza de manera probabilística a través de la asignación de números aleatorios en el marco de muestreo, lo que permite obtener resultados generalizables y confiables para el sector en su conjunto.
$$n = \frac{Z^2 * p * q * N}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q} \quad (1)$$
- ✓ **Aplicación de la encuesta:** la encuesta se aplica a través de un formulario de Google, diseñado para este proyecto (Enlace del formulario: <https://forms.gle/MRPVGahm8yhkMuMx8>)
- ✓ **Procesamiento de datos:** los datos recopilados mediante la encuesta se procesan y analizan utilizando técnicas estadísticas adecuadas. Se utiliza una base de datos diseñada para este propósito, lo que garantiza la integridad y organización de los datos recolectados.
- ✓ **Análisis de resultados:** los resultados se analizan en profundidad, identificando las principales características y necesidades de las PyMEs industriales del sector metalmecánico en términos de capacidades tecnológicas. El modelo presentado por los investigadores de la Universidad Nacional de la Matanza (Mon & Del Giorgio, 2021; Mon & Giorgio, 2023) se estructura en base a la detección de productos tecnológicos, diferenciados en 3 componentes principales: Software,

Hardware e Infraestructura. Los mismos se agrupan según las especificidades de cada tipo de tecnología y las áreas en que son implementados. Las áreas funcionales consideradas en el estudio son: Logística, Producción, Ventas, Gestión, Contabilidad y Finanzas, Ingeniería y Compras. Identificados los productos tecnológicos en su cruce con cada área funcional, el índice InTIC genera una valoración de 3 niveles considerando el grado de desarrollo en función del tiempo, la contribución de información sensible para las empresas, la complejidad del problema que resuelven, el impacto en la mejora y/o control de los procesos, el aporte en la eficiencia respecto al uso de recursos, la mejora en la productividad de los procesos, la reducción de costos operativos y el grado de innovación que genera su implantación y aplicación en el ámbito de la industria. Los niveles distinguen 3 categorías: un nivel Básico de desarrollo de TIC para el rango de 0 a 120 puntos, un nivel Medio para el rango de 121 a 715 puntos, y un nivel Avanzado para el rango de 716 a 1375 puntos (Mon & Del Giorgio, 2021; Mon & Giorgio, 2023).

La implementación de esta metodología permitirá obtener una visión integral y detallada de las capacidades tecnológicas de las PyMEs contempladas. Los resultados contribuirán a comprender las principales características y necesidades del sector, identificar áreas problemáticas y oportunidades de mejora, y a diseñar estrategias adaptadas que impulsen su desarrollo tecnológico en el contexto de la Industria 4.0.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Finalizada la aplicación de la encuesta y el procesamiento de los datos obtenidos, se presenta una caracterización y análisis integral de la madurez tecnológica actual que poseen las PyMEs del sector metalmeccánico de la ciudad de Olavarría. Sumado a esto, se realizan comparaciones y contrastes entre las empresas encuestadas para detectar áreas problemáticas y oportunidades de mejora.

4.1 Caracterización de las empresas

De los resultados del estudio se vislumbra que entre las diversas actividades que componen al sector metalmeccánico de Olavarría, la actividad que predomina en el conjunto de empresas relevadas corresponde a la fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinarias y equipos (61%). Asimismo, la producción de servicios metalúrgicos prevalece como segunda actividad destacada, con un 16% de empresas, dejando en tercer lugar a la fabricación de Maquinaria y Equipo N.C.P, con el 9,6% del total de empresas.

En cuanto a la categorización de las empresas con relación a su tamaño, en base a la cantidad de trabajadores, se evidencia que el 51,9% pertenece a la categoría de Micro empresa (con menos de 15 empleados), el 29,6% responde a la categoría de pequeña empresa (con un rango de 16 a 80 empleados) y el 18,5% restante corresponde a empresas medianas de tramo 1 (con un rango de 81 a 235 empleados). Asimismo, el 80,8% de tales empresas, exponen una antigüedad en sus actividades superior a los 10 años. Respecto de la figura legal, un 51,9% conforman sociedades anónimas, un 25,9% responden a la figura de sociedad de responsabilidad limitada y un 11,1% corresponde a empresas unipersonales. Las empresas restantes se constituyen por sociedades por acciones simplificadas, personas físicas y sociedades simples.

4.2 Análisis interno y externo de las empresas

En los resultados provistos en la Figura 1 se resumen los principales desafíos que actualmente afrontan las empresas que conforman la muestra del presente estudio. Tales resultados evidencian que la falta de mano de obra calificada en los puestos operativos, la disponibilidad de insumos, el acceso al financiamiento, la fluctuación de costos de materia prima, energía y mano de obra, y la crisis cambiaria

asociada a la volatilidad de los mercados, conforman los principales obstáculos para el desempeño de las actividades productivas en el sector metalmeccánico.

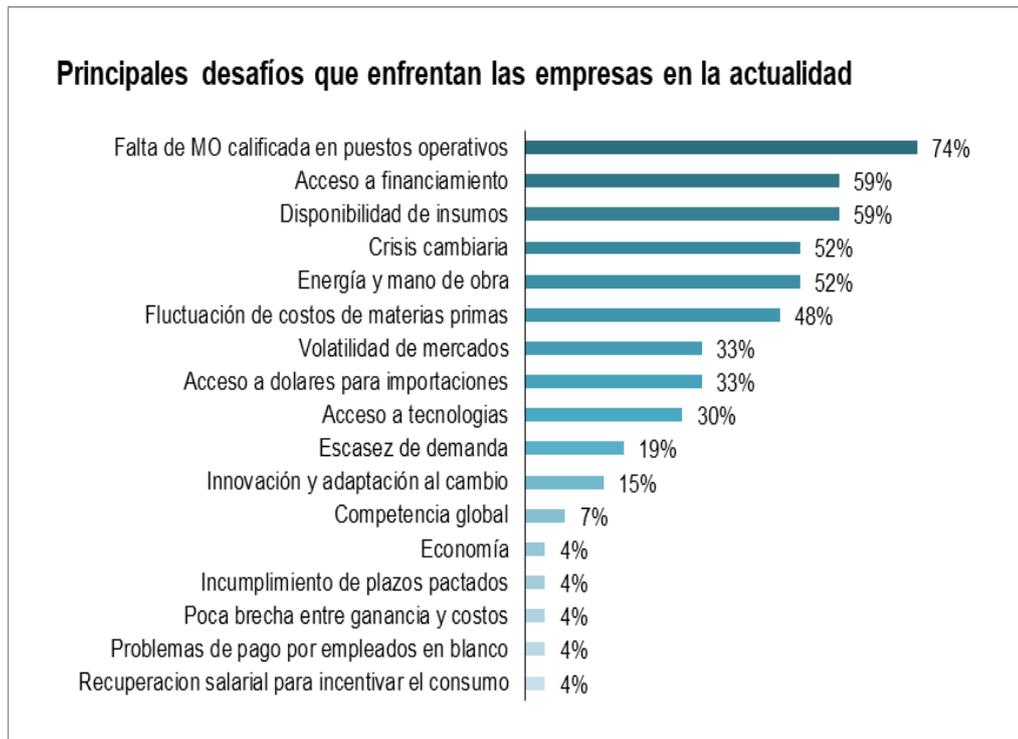


Figura 1 – Principales desafíos que enfrentan las empresas en la actualidad.

Asimismo, en la Figura 2 se exponen las principales problemáticas internas identificadas por las empresas relevadas que dificultan el logro de sus objetivos. En dicha figura se evidencia el predominio de la falta de capacitación de la mano de obra, sumado a la alta rotación y/o ausentismo del personal y la falta de planeación de los recursos productivos como principales dificultades internas. Asimismo, se observa, además, la capacidad saturada como otra de las problemáticas relevantes del sector.

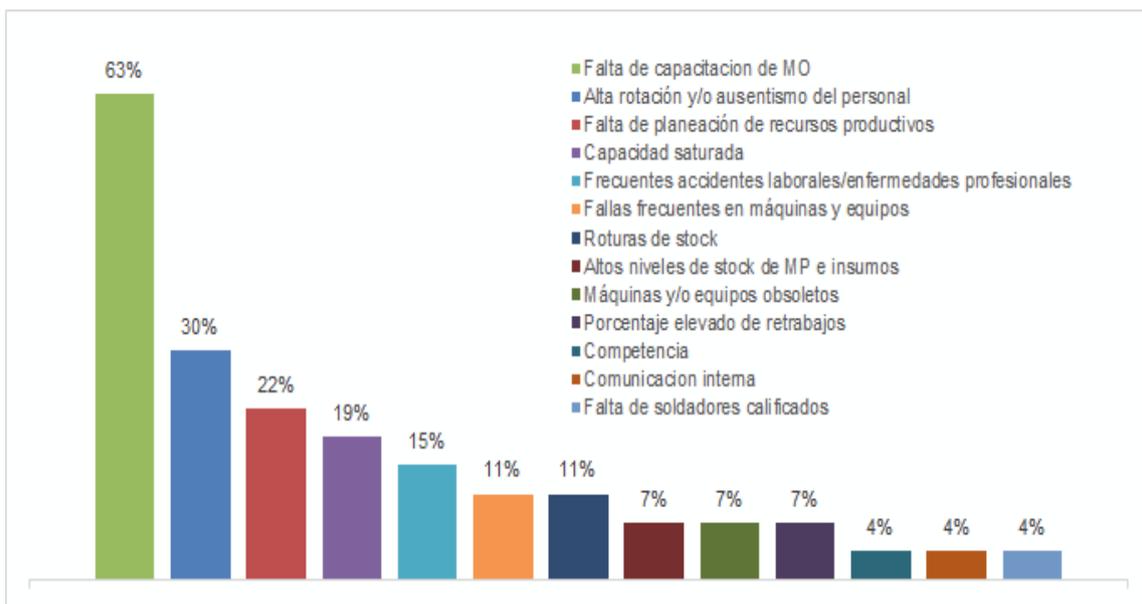


Figura 2 – Principales problemáticas internas de las organizaciones.

En la Figura 3 se identifican las principales fortalezas de las empresas relevadas que permiten su diferenciación en el sector metalmeccánico. Entre ellas se destacan principalmente la calidad de los productos y/o servicios ofrecidos, el servicio brindado al cliente, el cumplimiento en tiempo y forma de los pedidos y la flexibilidad en el diseño de productos para adaptarlos a los requerimientos del cliente, como principales prioridades competitivas.

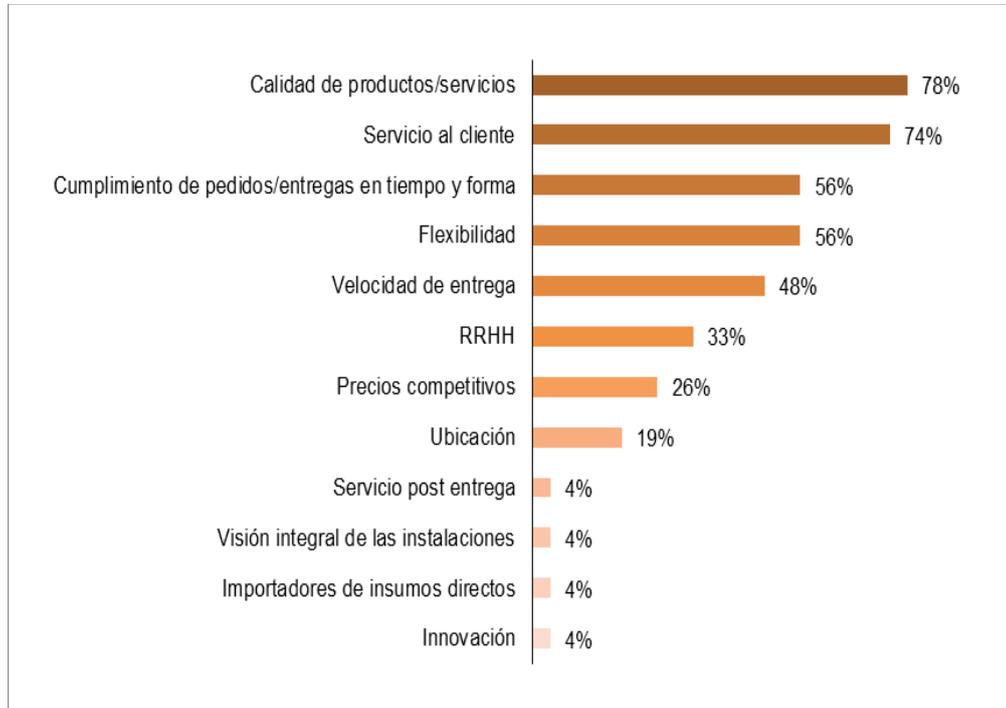


Figura 3 – Principales fortalezas de las organizaciones.

Respecto a la estrategia, la toma de decisiones y los procesos internos de las organizaciones pertenecientes al estudio, se observa que el 51,9% manifiesta representarse por la frase “La dirección de la empresa tiene una visión estratégica y entiende el impacto de los cambios tecnológicos en el negocio”. Por su parte, el 40,7% cree que “La dirección de la empresa está muy involucrada en las operaciones del día a día y tiene poco tiempo para dedicar a la estrategia”, mientras que el 29,6% restante expresa que “La dirección de la empresa dedica tiempo a conocer las tendencias del mercado (actual/potencial)”.

Asimismo, al momento de valorar el uso de datos para la toma de decisiones relevantes, el 48,1% de las empresas reconoce el valor de los datos, pero los utiliza parcialmente en la toma de decisiones (valoración media), el 37% toma decisiones basadas en datos evidenciales, considerando procedimientos para el relevamiento y manejo de la información (valoración alta), mientras que el 14,8% toma decisiones basadas principalmente en la intuición y experiencia (valoración baja).

En cuanto al uso de indicadores en el proceso de producción se destaca que el 69,2% de las empresas cuenta con indicadores de producción, confeccionados con información obtenida de forma manual, mientras que un 23,1% no dispone de indicadores de seguimiento.

Con relación a las técnicas de gestión de mantenimiento aplicadas en las plantas productivas, se evidencia que el 61,5% de las empresas aplica un mantenimiento exclusivamente correctivo, un 34,6% realiza paradas programadas para aplicar mantenimiento preventivo y un 26,9% hace uso de información histórica para el desarrollo de planes de mantenimiento.

Por su parte, con relación a la trazabilidad de los productos, el 59,3% realiza la trazabilidad con un registro en papel y/o en planillas de cálculo de forma manual, el 18,5% utiliza sistemas digitales tales como códigos de barras, QR, RFID u otros métodos similares y el 18,5% no realiza ningún tipo de trazabilidad de producto.

Además, el 25,9% de las empresas utiliza sistemas digitales para el control de la materia prima, mientras que el 66,7% realiza un control mediante registro en papel y/o en planillas de cálculo de forma manual. Las empresas restantes manifiestan la ausencia de un sistema de control de la materia prima que ingresa a la organización.

Finalmente, en cuanto a la digitalización de los procesos y documentos internos, se evidencia que la mayoría de las organizaciones posee un nivel medio o alto de digitalización en los procesos y documentos vinculados a la gestión administrativa, la gestión de producción y el diseño de productos.

4.3 Tecnologías modernas

Al evaluar el nivel de comprensión de las empresas acerca de las Tecnologías 4.0 y los beneficios que su implementación implicaría para el negocio se obtuvo como resultado que el 40,7% tiene un conocimiento general del concepto y de su impacto, por lo que encuentra motivación para incorporar tecnologías 4.0, el 33,3% conoce el concepto pero no visualiza claramente los beneficios de su incorporación, el 18,5% desconoce por completo qué implica la transformación digital y sólo el 7,4% percibe por completo el concepto y el impacto que implica la transformación digital.

Asimismo, con relación a las tecnologías de la información (TI), el 44,4% de las empresas no cuentan con un responsable de TI encargado de gestionar las inversiones y usos de las mismas, el 29,6% manifiesta disponer de dicha figura en su organización, mientras que el porcentaje restante opta por contratar dicho servicio a terceros.

Actualmente, hay una paridad en las empresas encuestadas respecto al uso de robots o sistemas automatizados en sus procesos productivos. La mitad de ellas utiliza alguno de estos sistemas y reconoce el impacto positivo de su uso tanto en la eficiencia de sus procesos como en la calidad de sus productos. El principal uso de estas tecnologías se efectúa en las actividades de soldadura y corte.

En cuanto a las tareas que podrían automatizarse mediante el uso de robots, el 66,6% de los encuestados destaca su interés para invertir a futuro tecnologías que faciliten las tareas de soldadura, corte y pintura. Los principales impedimentos a la hora de incorporar estas tecnologías en sus sistemas productivos se relacionan con los elevados costos de adquisición, la dificultad para acceder a fuentes de financiamiento y la falta de personal capacitado para su operación. Asimismo, en relación con la robótica colaborativa, se observa que un 70% de encuestados no contempla utilizar esta posibilidad en sus organizaciones, debido mayoritariamente a la falta de conocimiento de sus aplicaciones.

Por su parte, respecto a soluciones de ciberseguridad, se evidencia que la mayoría de las empresas no utilizan tales tecnologías para proteger los sistemas y dispositivos conectados a la infraestructura de producción.

Finalmente, en la Figura 4 se resumen las aplicaciones de inteligencia artificial sobre las cuales las empresas manifiestan mayor interés para aplicar en su organización, considerando la baja inversión requerida para su implementación y el alto impacto que aportarían a sus operaciones.

Entre tales aplicaciones prevalecen aquellas abocadas a la digitalización de la información, el diseño y desarrollo de productos, y el control automatizado del flujo de existencias en almacén.

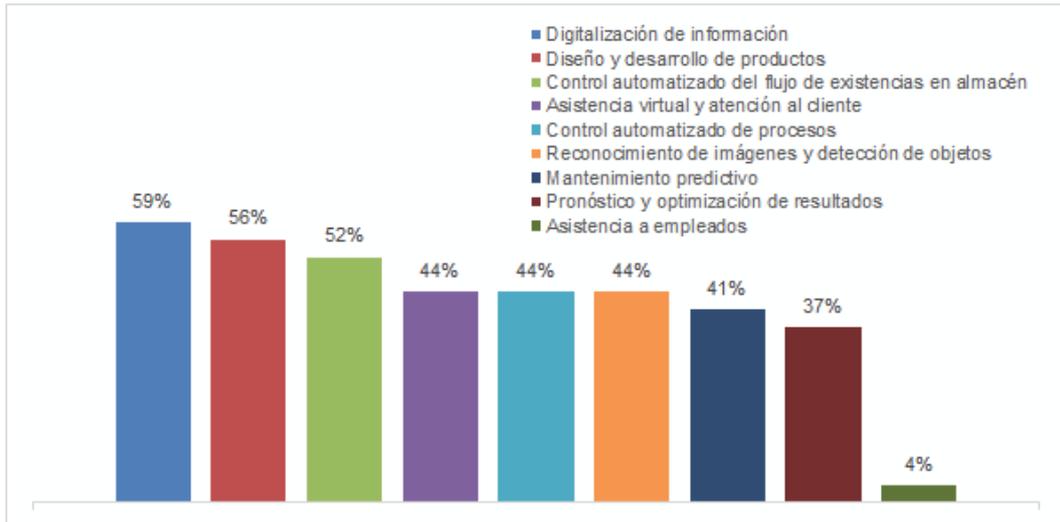


Figura 4 – Principales aplicaciones de Inteligencia Artificial de interés para las organizaciones encuestadas.

4.4 Nivel de desarrollo tecnológico por área funcional - Índice InTICs

La incorporación efectiva de nuevas tecnologías en los sectores industriales requiere una comprensión profunda de la capacidad tecnológica existente. En ausencia de información detallada sobre las TICs instaladas y utilizadas en los procesos, resulta difícil definir necesidades de adopción tecnológica y lograr una reconversión exitosa en las cadenas de valor. En este contexto, se aplicó el modelo InTICs,

desarrollado por investigadores de la UNLaM (Mon & Del Giorgio, 2021; Mon & Giorgio, 2023), para obtener un estado de situación respecto al nivel de desarrollo tecnológico de las empresas del sector metalmeccánico de Olavarría. Los resultados obtenidos se detallan a continuación.

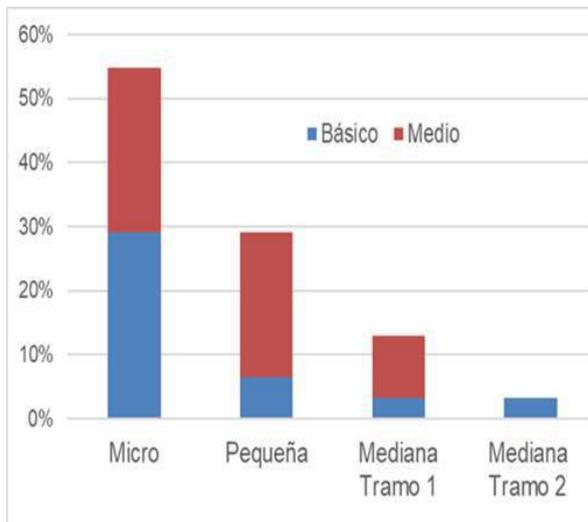


Figura 5 – Nivel de desarrollo tecnológico alcanzado por las empresas según Índice InTICs.

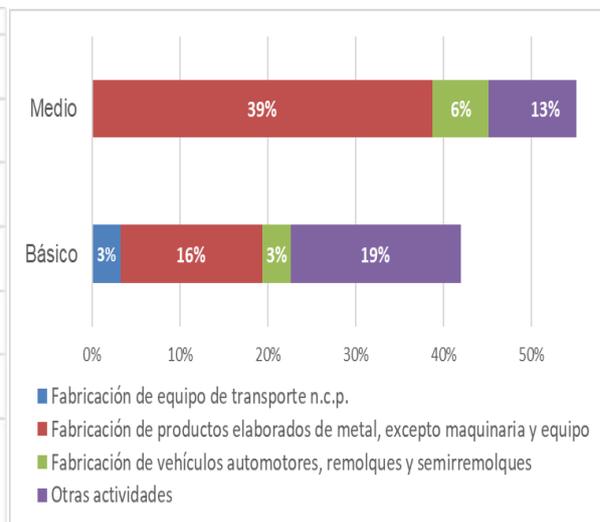


Figura 6 – Nivel de desarrollo tecnológico según rama de actividad.

En la Figura 6 se observa que el 43% de las PyMEs se encuentran en un Nivel Básico de desarrollo tecnológico, mientras que el 57% restante alcanza un Nivel Medio. Asimismo, en la Figura 5 se expone que el mayor nivel de desarrollo predomina en las pequeñas empresas y en las medianas del tramo 1.

Por su parte, en la Figura 6 se vislumbra a la actividad de “Fabricación de productos de metal, excepto maquinaria y equipo” predominante en cuanto al desarrollo tecnológico, mientras que la “Fabricación de equipo de transporte N.C.P.” evidencia el nivel más bajo.

La recopilación exhaustiva de información sobre los productos tecnológicos implementados en cada empresa, así como sus áreas funcionales operativas, conlleva un análisis minucioso. Esto permite profundizar en el análisis de la capacidad de transformación tecnológica hacia la Industria 4.0, así como evaluar las competencias tecnológicas en función de las ramas de actividad.

En equipamientos de hardware, el 60% de las empresas emplean PCs y notebooks en todas sus áreas principales, mientras que solo el 6,4% usa arquitecturas RISC y tablets, abocadas principalmente en las áreas de ingeniería, producción y ventas. Las impresoras láser (96,7%) y scanners (35,5%) exponen un uso extendido en todas las áreas de las empresas, mientras que los plotter (12%) e impresoras 3D (3,2%) evidencian un uso reducido en las áreas de ingeniería y producción.

En cuanto al uso de POS (en ventas y contabilidad y finanzas), GPS (en el área de logística) y sensores (en el área producción), solo el 16% de las empresas reconoce su uso. Mientras que la disponibilidad de servidores compartidos y cámaras se manifiesta en la mayoría de las empresas (50%+).

Respecto del uso de robots y RFID, sólo el 9,5% manifiesta su utilización, principalmente en el área de producción. En cuanto a comunicación, el uso de centrales telefónicas tradicionales e IP exponen un uso equitativos en todas las áreas de las empresas relevadas.

En equipamiento de infraestructura, prevalece el uso de redes inalámbricas de telefonía celular y wifi, mientras que Bluetooth e IoT (9%) son menos comunes. Asimismo, prevalece la conexión a internet en más del 90% de las empresas, mientras que el 45% manifiesta el uso de servidores locales y servicios en la nube. Finalmente, el 30% de las empresas aplican redes de área local y seguridad informática.

Con relación al uso de software, las tecnologías web que predominan son páginas web (73%) y publicidad en línea (38,7%) enfocadas principalmente en el área de ventas, mientras que intranet y extranet exponen un uso moderado (menos del 10%).

En cuanto a tecnologías colaborativas prevalece el uso de email con dominio propio, redes sociales de la organización y videoconferencia, en más del 50% de las empresas relevadas. El 40% de las mismas utilizan la sincronización de archivos, mensajería instantánea y telefonía IP. Finalmente, el uso de aplicaciones móviles solo se observa en menos del 10% de las empresas del sector.

Con relación a las herramientas de oficina se evidencia el predominio de las hojas de cálculo (80%) y procesadores de texto junto a gestor de archivos PDF, lector de archivos PDF y sincronización de archivos (60%) en todas las áreas de las organizaciones en estudio.

En sistemas de gestión, más del 50% usa ERP, el 32% emplea sistemas de gestión de calidad y el 25% usa sistemas CRM. Sólo una empresa expone el uso de business intelligence, big data e inteligencia artificial.

Para el control de producción, los sistemas más utilizados consisten en programación y planificación (MRP) (30%+) y calidad de producto (30%+). En menor medida se observa la aplicación de sistemas de control (PDM) (20%) e ingeniería de planta/mantenimiento (20%).

Respecto al diseño de producto y procesos, los sistemas que prevalecen son diseño asistido por computadora (CAD) (54.8%), fabricación asistida por computadora (CAM) e ingeniería asistida por

computadora (CAE) (20%). Sólo una empresa expone la aplicación de realidad virtual en las áreas de ingeniería y producción.

En cuanto a sistemas de geolocalización sólo el 20% de las empresas utiliza los mismos enfocados en las actividades de distribución y logística. Mientras que, con relación a los sistemas de seguridad, predomina su uso en la protección de información de todas las áreas de la empresa (51,6%), con una leve aplicación (19,3%) en el resguardo de infraestructura crítica.

Finalmente, se evidencia que el 12% de las empresas implementa el uso de robots, cloud computing o ciberseguridad, mientras que sólo el 6% utiliza realidad virtual, fabricación aditiva, big data e inteligencia artificial como principales tecnologías habilitadoras 4.0.

En conclusión, el análisis señala un bajo nivel de implementación de tecnologías de la Industria 4.0 y una falta de integración de estas en las diferentes áreas funcionales. Estos hallazgos pueden relacionarse con la falta de comprensión del paradigma productivo de industrias inteligentes y el desconocimiento de las posibilidades que brindan sus tecnologías habilitadoras, y la integración transversal de estas, para potenciar las demás tecnologías ya implementadas en las diferentes organizaciones del sector en análisis.

5. CONCLUSIONES

En la presente investigación, se llevó a cabo una inspección detallada de las capacidades tecnológicas de las PyMEs industriales pertenecientes al sector metalmeccánico de Olavarría. Este análisis propuso evaluar su nivel de preparación para la adaptación al emergente paradigma de las "fábricas inteligentes". El análisis de las TICs en las áreas de procesos posibilita la identificación de productos tecnológicos específicos, ya sean de software, hardware o comunicaciones. Esta detección es esencial para diagnosticar la capacidad instalada, mejorar los niveles de productividad y discernir necesidades de desarrollo y capacitación. De los resultados obtenidos se evidencia que el sector metalmeccánico de Olavarría se encuentra en un proceso incipiente de transformación digital debido principalmente a la brecha tecnológica, al rezago de la interconexión y comunicación entre máquinas, la limitada aplicación de tecnologías de ciberseguridad y automatización, y falta de talento especializado asociado, entre otros. Asimismo, se vislumbra el interés de los empresarios en la adopción de tecnologías digitales, como la automatización de procesos, el uso de inteligencia artificial y el análisis de datos, considerando el aporte significativo de éstas en la eficiencia y productividad del sector.

Ante estos hallazgos es relevante sensibilizar y capacitar a los empresarios PyMe sobre la importancia de transitar hacia la industria 4.0 y la manufactura inteligente para impulsar su productividad, fortalecer su competitividad y su posicionamiento en el mercado, haciendo especial hincapié en la difusión de las tecnologías asociadas, requerimientos básicos para su implementación y contribución que cada una efectúa a sus negocios. Asimismo, es necesario concientizar a las empresas en el uso de arquitecturas tecnológicas que permitan alcanzar mayores niveles de integración en todas sus actividades, y con integrantes de sus cadenas de suministro, facilitando el intercambio de información, productos y servicios, el aprovechamiento de oportunidades y la creación de ventajas competitivas.

Para alcanzar estos resultados es crucial la participación de instituciones educativas que se encarguen de difundir el conocimiento y capacitar a los recursos humanos del sector con las competencias que estas nuevas tecnologías requieren, además del establecimiento de iniciativas gubernamentales que asistan y apoyen a las empresas para acceder a planes de capacitación y fuentes de financiamiento accesibles. Asimismo, es necesario establecer una hoja de ruta para acompañar a las empresas en el proceso de definición de una estrategia de transformación digital e implementación de nuevas tecnologías que

responda a sus necesidades y prioridades competitivas, brindando un soporte adecuado y profesional para su desarrollo.

Los hallazgos obtenidos servirán de base para el desarrollo de métodos y herramientas que faciliten la transición de las empresas hacia la Industria 4.0, marcando un hito en el avance del desarrollo tecnológico en la región. No obstante, su impacto va mucho más allá, ya que proporcionarán fundamentos para guiar las políticas educativas, estrategias y acciones que apunten a la reestructuración de programas académicos en disciplinas tecnológicas, incluyendo las ingenierías y campos afines, con el fin de moldear un ecosistema educativo en perfecta armonía con las exigencias del nuevo paradigma productivo.

6. REFERENCIAS.

Aires, M., Rosa, A. (2018). Indústria 4.0: a manufatura aditiva como ferramenta de inovação e otimização. *Brazilianjournals.Com*, 12.

Amaliyah. (2019). Business: Innovation: Implementation Digital Transformation and Digital Leadership in Era Industrial Revolution 4.0. <https://doi.org/10.2991/icot-19.2019.2>.

Ávila-Bohórquez, J. H., & Gil-Herrera, R. de J. (2022). Proposal and Validation of an Industry 4.0 Maturity Model for SMEs. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 15(3), 433–454. <https://doi.org/10.3926/jiem.3673>.

Ávila-Guerrero, F. M., Bernal Díaz, I. V., & Monroy Gómez, D. A. (2023). Business Digital Transformation: Review of Investigative Productions 2017 – 2021. *Revista Venezolana de Gerencia*, 28(101). <https://doi.org/10.52080/rvgluz.28.101.18>.

Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M., & Rosenberg, M. (2014). How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective. In *World Academy of Science, Engineering and Technology. International Journal of Information and Communication Engineering (Issue 1)*.

Calle Herencia, C. A. (2022). La transformación digital y su importancia en las pymes. *Iberoamerican Business Journal*, 5(2), 64–81. <https://doi.org/10.22451/5817.ibj2022.vol5.2.11059>.

CEPAL. (2021). Datos y hechos sobre la transformación digital(LC/TS.2021/20). Séptima Conferencia Ministerial Sobre La Sociedad de La Información de América Latina y El Caribe.

Dini, M., & Stumpo, G. (2019). América Latina Un frágil desempeño y nuevos desafíos para las MIPYMES Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL.

Ferraz, J. C., Torracca, J., Ruiz, A. U., Britto, J., & Schmidt, H. (2021). Argentina-Brasil La travesía por la digitalización Instituto para la Integración de América Latina y el Caribe Sector de Integración y Comercio. <http://www.iadb.org>.

Fundación Observatorio PyME. (2019). Informe de Coyuntura de las PyME industriales, software y servicios informáticos. III Trimestre 2019. <https://www.observatoriopyme.org.ar/project/coyuntura-pyme-itrim2019-2-2/>.

Roark, G., Urrutia, S., Jaureguierry, M., Paravié, D., & Ottogalli, D. (2013). Actividades predominantes a nivel nacional, regional y local de las pymes industriales argentinas. *Ciencias Administrativas*.

- González Varona, J. M. (2021). Retos para la Transformación Digital de las PYMES: Competencia Organizacional para la Transformación Digital [Universidad de Valladolid]. <https://doi.org/10.35376/10324/47767>.
- Kagermann, H., Lukas, W.-D., & Wahlster, W. (2011). Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. VDI Nachrichten, 13.
- Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E. de F. R., & Ramos, L. F. P. (2017). Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. In *International Journal of Production Research* (Vol. 55, Issue 12).
- Maresova, P., Soukal, I., Svobodova, L., Hedvicakova, M., Javanmardi, E., Selamat, A., & Krejcar, O. (2018). Consequences of industry 4.0 in business and economics. In *Economies* (Vol. 6, Issue 3). <https://doi.org/10.3390/economies6030046>.
- Mon, A., & Del Giorgio, H. R. (2021). Evaluation of Information and Communication Technologies towards Industry 4.0. *Procedia Computer Science*, 180.
- Mon, A., Del Giorgio, H. R., Collazos, C., & Calleros, J. M. G. (2022). Analysis of Companies in Industry 4.0 to Characterize Their Users: The Cases of Argentina and Mexico. *Communications in Computer and Information Science*, 1707 CCIS. https://doi.org/10.1007/978-3-031-24709-5_3.
- Mon, A., & Giorgio, H. R. Del. (2023). Technological Transformation Model for SMEs. *Procedia Computer Science*, 217. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.306>.
- Osorio-Gallego, C. A., Londoño-Metaute, J. H., & López-Zapata, E. (2016). Analysis of factors that influence the ICT adoption by SMEs in Colombia. *Intangible Capital*, 12(2). <https://doi.org/10.3926/ic.726>.
- Saavedra Sueldo, C., Perez Colo, I., De Paula, M., Villar, S. A., & Acosta, G. G. (2023). ROS-based architecture for fast digital twin development of smart manufacturing robotized systems. *Annals of Operations Research*, 322(1). <https://doi.org/10.1007/s10479-022-04759-4>.
- Schumacher, A., Erol, S., & Sihni, W. (2016). A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Procedia CIRP*, 52. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.040>.
- Somohano-Rodríguez, F. M., Madrid-Guijarro, A., & López-Fernández, J. M. (2022). Does Industry 4.0 really matter for SME innovation? *Journal of Small Business Management*, 60(4). <https://doi.org/10.1080/00472778.2020.1780728>.
- Strandhagen, J. W., Alfnes, E., Strandhagen, J. O., & Vallandingham, L. R. (2017). The fit of Industry 4.0 applications in manufacturing logistics: a multiple case study. *Advances in Manufacturing*, 5(4). <https://doi.org/10.1007/s40436-017-0200-y>.
- Trujillo Valdiviezo, G., Rodríguez Alegre, L., Mejía Ayala, D., & López Padilla, R. D. P. (2022). Digital transformation in Latin America: a systematic review. In *Revista Venezolana de Gerencia* (Vol. 27, Issue 100, pp. 1519–1536). Universidad del Zulia. <https://doi.org/10.52080/rvgluz.27.100.15>.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.10.00>.

Digitalización de procesos financieros mediante la implementación de la metodología ágil Kanban

Tabone, Luciana Belén

ltabone@fi.mdp.edu.ar

Universidad Nacional de Mar del Plata (Argentina).

Mortara, Verónica Aída

vmortara@fi.mdp.edu.ar

Universidad Nacional de Mar del Plata (Argentina)

Fecha de recepción RIII: 12/04/2024

Fecha de aprobación RIII: 18/10/2024

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo el desarrollo de una propuesta de digitalización al proceso financiero de reclamo de deudas de una organización de servicios de salud de la ciudad de Mar del Plata, Argentina. Ante el crecimiento de la cantidad de clientes, se han generado demoras en el proceso y falencias de la integración, comunicación y coordinación entre las áreas involucradas. Esta situación genera como principal problemática que la organización enfrente inconvenientes financieros asociados a la falta de liquidez, con la imposibilidad de afrontar la totalidad de las obligaciones y compromisos asumidos. Es por ello, que se propone la digitalización de toda la información y documentación asociada al proceso y la implementación de la metodología ágil Kanban para poder gestionarlo de forma rápida, flexible e integrada. Se diseña un tablero virtual para visualizar el flujo del proceso, se establecen las políticas, los límites del trabajo en progreso, ciclos de realimentación y mejora continua. Se concluye que la propuesta de digitalización y gestión ágil del proceso analizado generará un impacto positivo en las finanzas de la organización, tanto en el corto como en el largo plazo, favoreciendo su solvencia, competitividad futura y agregado valor de manera continua a la organización.

Palabras Claves: agregado de valor; digitalización; Kanban; metodologías ágiles; procesos financieros.

Digitization of Financial Processes through the Implementation of the Agile Kanban Methodology

ABSTRACT

The objective of this work is to develop a proposal for digitalization of the financial debt claim process of a health services organization in the city of Mar del Plata, Argentina. Given the growth in the number of clients, delays have been generated in the process and shortcomings in integration, communication and coordination between the areas involved. This situation generates the main problem that the organization faces financial problems associated with lack of liquidity, with the impossibility of meeting all of the obligations and commitments assumed. For this reason, the digitalization of all the information and documentation associated with the process and the implementation of the agile Kanban methodology is proposed to be able to manage it quickly, flexibly and integratedly. A virtual dashboard is designed to visualize the process flow, policies, work-in-progress limits, feedback cycles and continuous improvement are established. It is concluded that the proposal for digitalization and agile management of the analyzed process will generate a positive impact on the organization's finances, both in the short and long term, favoring its solvency, future competitiveness and continuously adding value to the organization.

Keywords: value added; digitization; Kanban; agile methodologies; financial processes.

Digitalização de Processos Financeiros através da Implementação da Metodologia Ágil Kanban

RESUMO

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma proposta de digitalização do processo de reclamação de dívidas financeiras de uma organização de serviços de saúde na cidade de Mar del Plata, Argentina. Dado o crescimento do número de clientes, foram gerados atrasos no processo e deficiências na integração, comunicação e coordenação entre as áreas envolvidas. Esta situação gera como principal problema que a organização enfrenta problemas financeiros associados à falta de liquidez, com a impossibilidade de cumprir todas as obrigações e compromissos assumidos. Por este motivo, propõe-se a digitalização de toda a informação e documentação associada ao processo e a implementação da metodologia ágil Kanban para poder geri-lo de forma rápida, flexível e integrada. Um painel virtual é projetado para visualizar o fluxo do processo, políticas, limites de trabalho em andamento, ciclos de feedback e melhoria contínua são estabelecidos. Conclui-se que a proposta de digitalização e gestão ágil do processo analisado gerará um impacto positivo nas finanças da organização, tanto no curto como no longo prazo, favorecendo a sua solvência, competitividade futura e agregando continuamente valor à organização.

Palavras chave: valor adicionado; digitalização; Kanban; metodologias ágeis; processos financeiros.

1. INTRODUCCIÓN

En el marco de la cuarta revolución industrial, la tecnología ha modificado la forma en que las organizaciones operan, convirtiendo a la transformación digital en un aspecto crucial para la supervivencia y el éxito a largo plazo. En particular, la transformación digital de los procesos organizacionales involucra la redefinición y mejora de las operaciones internas de una organización a través de la aplicación de tecnologías digitales (Davis, 2016; Clemons, 2019; Cavusgil et al., 2020).

En este contexto, la gestión ágil de procesos se ha vuelto cada vez más relevante, al centrarse en la generación continua de valor al cliente y la organización. Específicamente la metodología ágil Kanban proporciona una forma visual y flexible de gestionar los procesos empresariales, utilizando tableros para visualizar el flujo de trabajo, limitar la cantidad de trabajo en progreso (WIP) y fomentar la colaboración y la transparencia en el equipo de trabajo (Anderson, 2010; Kniberg et al., 2010; Kirovska y Koceski, 2015).

Al combinar la transformación digital de los procesos organizacionales con la gestión ágil de procesos, las organizaciones pueden obtener beneficios significativos, permitiéndoles mejorar la planificación, asignación de recursos y seguimiento del progreso de las tareas en tiempo real. Además, la integración de herramientas digitales y automatización en un entorno Kanban agiliza los flujos de trabajo, reduce los tiempos de proceso y aumenta flexibilidad y capacidad de respuesta, lo que se traduce en una mayor eficiencia operativa (Perkin y Abraham, 2017; McGrath y McNanus, 2020; Kappelman et al., 2019).

El presente trabajo toma como caso de estudio a una organización de la ciudad de Mar del Plata, Argentina, que brinda servicios especializados en salud mental. Analizando su proceso de reclamo de deudas, se detectan como principales problemáticas las demoras en su desarrollo y falencias de integración, comunicación y coordinación entre las áreas involucradas. Esta situación, ha generado retrasos en el cobro de los de los servicios prestados del orden del 50% del total de la facturación mensual. El objetivo del trabajo consiste en una propuesta de digitalización de toda la información y documentación asociada al proceso y la implementación de la metodología ágil Kanban para poder gestionarlo de forma rápida, flexible e integrada y garantizar la liquidez y solvencia futura de la organización.

2. MARCO TEÓRICO

La mejora de la productividad y generación de valor en las organizaciones impulsa la implementación de nuevos métodos de gestión. La combinación de la transformación digital de los procesos organizacionales con la gestión ágil, resulta ser una alternativa conveniente a adoptar en marco de la cuarta revolución industrial (Gamboa Manzaba, 2014).

Transformación digital

La transformación digital de las organizaciones implica la reinención de los recursos, prioridades y procesos de una empresa con el fin de adaptarse al mundo actual, empoderado digitalmente. (Perkin y Abraham, 2017).

Según Páez-Gabriunas (2022), la transformación digital en las organizaciones implica la integración de tecnologías digitales al funcionamiento y operación de los negocios. Engloba diversas acciones, que van desde adoptar, ampliar o actualizar herramientas y dispositivos para almacenar e intercambiar

información, hasta crear o mejorar productos y servicios digitales, como ventas en línea, clases de acceso remoto y consultoría virtual, entre otros ejemplos relevantes.

Perkin y Abraham (2017) consideran que este proceso tiene tres características básicas:

- Es inevitable: es un fenómeno en constante evolución y cada organización debe decidir si se convierte en un actor activo y protagonista de este proceso, o si asume el papel de un observador pasivo y se queda al margen.
- Involucra un cambio profundo: no implica simplemente cambios sutiles o superficiales en el modelo de negocio, sino a una completa reinención de la forma en que la organización ha operado tradicionalmente.
- Implica más que solo tecnología: no se limita únicamente a cambios tecnológicos, sino que involucra una reevaluación integral de cómo se lleva a cabo la estrategia y los procesos en la organización, así como la adaptación de comportamientos, cultura e individuos a la luz de los nuevos desarrollos.

En consecuencia, la transformación digital no se limita únicamente a la implementación de nuevas herramientas tecnológicas, sino que implica un cambio fundamental en la forma en que una empresa opera y se relaciona con sus proveedores, clientes, propietarios, colaboradores, competidores y la industria en general, con el fin de agregar más valor a cada una de ellas. Requiere una revisión completa de la estrategia empresarial, los modelos de negocio, la cultura organizativa y las habilidades necesarias para tener éxito en la era digital (Aguiar, 2020).

Esto plantea desafíos significativos para los líderes, que desempeñan un papel fundamental como agentes de cambio en el proceso de transformación digital. Se debe buscar un equilibrio adecuado entre impulsar la transformación digital y garantizar el funcionamiento eficiente de la organización, al tiempo que cuidan del bienestar de sus miembros y colaboradores clave en este proceso (Páez-Gabriunas, 2022).

Metodología ágil Kanban

Los métodos ágiles están ganando cada vez más preeminencia y adquiriendo una mayor importancia, ya que se han demostrado más eficientes en entornos de alta incertidumbre y cambios en comparación con los métodos tradicionales. Estos métodos se basan en la idea de que los requisitos y soluciones evolucionan con el tiempo según las necesidades, y donde la colaboración entre los equipos de trabajo es fundamental para alcanzar los objetivos. Para lograr altos estándares de trabajo y garantizar que los clientes perciban un valor añadido en sus productos, las organizaciones están implementando procesos de adopción que permiten incorporar la agilidad en sus procesos de gestión (Tabone et al., 2023).

Una notable característica de estos métodos es que permiten a las empresas de menor tamaño adoptar prácticas que favorecen la gestión de sus recursos de manera más flexible, en contraste con las metodologías tradicionales (Yepes González et al., 2015). Por esta razón, estos métodos son especialmente adecuados para procesos dinámicos y equipos reducidos que abordan problemas específicos, dividiendo el trabajo en módulos manejables con el fin de minimizar errores y costos.

Entre las metodologías ágiles más reconocidas y adoptadas se encuentran la Programación Extrema, que se enfoca en la parte de programación; Scrum, que se orienta a las prácticas de organización y gestión; y Kanban, que se encarga de gestionar un flujo de trabajo óptimo dentro del proceso. Estas metodologías han ganado gran aceptación en la industria, debido a su eficacia comprobada, brindando estructura y flexibilidad a los equipos de desarrollo, lo que les permite adaptarse rápidamente a los cambios y optimizar la entrega de valor al cliente (Pérez, 2012; Kirovska y Koceskim, 2015)

En particular, la metodología ágil Kanban proporciona una forma visual y flexible de gestionar los procesos empresariales en búsqueda de mejorar la eficiencia en la ejecución de las tareas del proceso. Ésta permite la visualización clara y sencilla del flujo de trabajo, facilitando la identificación de cuellos de botella, limitando el WIP y fomentando la colaboración y transparencia en el equipo de trabajo (Anderson, 2010).

El Kanban se sustenta en valores esenciales que definen su filosofía. Está arraigado en la convicción de que es fundamental honrar y valorar a todos los individuos que colaboran en una organización de forma conjunta. Este enfoque no solo busca lograr el éxito de la empresa, sino también reconocer la importancia intrínseca de cada contribución. Los valores del Kanban se podrían resumir en una palabra: respeto. Este principio impregna todas las prácticas y decisiones relacionadas con Kanban, generando un ambiente de colaboración y reconocimiento recíproco. (Anderson, 2010)

El método Kanban se rige por tres principios directores (Anderson y Carmichael, 2016) que implican acciones concretas y se basan en las necesidades de la organización:

- Sostenibilidad: busca establecer prácticas y procesos sostenibles que puedan mantenerse a largo plazo. Se trata de evitar el agotamiento y el desgaste, fomentando un flujo de trabajo equilibrado y manejable. Esto implica establecer límites claros de WIP, garantizando que el equipo pueda cumplir con sus responsabilidades sin verse abrumado.
- Orientación al servicio: promueve una mentalidad centrada en el servicio y la entrega de valor al cliente. Los equipos adoptan una actitud de atención y cuidado hacia los usuarios o clientes, buscando comprender y satisfacer sus necesidades. Se enfoca en la calidad y la entrega constante de resultados valiosos, manteniendo un enfoque en el valor agregado para el cliente.
- Supervivencia: reconoce la importancia de la adaptación y la evolución continua para la supervivencia de la organización. Se fomenta la mejora constante y la capacidad de respuesta a los cambios y desafíos del entorno empresarial. Esto implica una mentalidad abierta al aprendizaje, la experimentación y la disposición a ajustar y mejorar los procesos para mantenerse competitivo y relevante.

Estos tres principios guían las acciones y decisiones dentro de un enfoque Kanban, asegurando la sostenibilidad, el servicio centrado en el cliente y la capacidad de adaptación y supervivencia de la organización.

Para implementar con éxito el Kanban y lograr un flujo de trabajo eficiente y flexible, se establecen un conjunto de actividades fundamentales (Anderson y Carmichael, 2016):

- Visualizar: Consiste en la creación de un tablero para visualizar el flujo de trabajo y las tareas pendientes. Se utilizan columnas para representar los estados del proceso y tarjetas para incorporar las tareas individuales.
- Limitar el WIP: Se establece un límite máximo de tareas que pueden estar en progreso simultáneamente en cada estado del proceso. Esto evita la sobrecarga y el trabajo excesivo, promoviendo un enfoque más centrado en la finalización de tareas.
- Gestionar el flujo: Se busca mantener un flujo constante de trabajo a lo largo del proceso, evitando cuellos de botella o retrasos. Se prioriza la entrega continua de tareas completadas y se identifican y abordan los obstáculos que puedan afectar el flujo.
- Hacer explícitas las políticas: Se definen y comunican claramente las reglas y políticas que rigen el proceso. Esto incluye aspectos como las definiciones de las columnas, los criterios de entrada y salida de tareas, y cualquier otra guía relevante para el equipo.
- Implementar ciclos de retroalimentación: Se establecen mecanismos para obtener retroalimentación constante sobre el rendimiento del proceso. Esto puede incluir reuniones

regulares de revisión y retrospectivas en las que se analiza el flujo de trabajo y se identifican oportunidades de mejora.

- Mejorar de manera colaborativa, evolucionar: Todo el equipo colabora en la mejora continua del proceso. Se fomenta la participación activa, la discusión abierta y la experimentación con cambios para identificar formas de trabajar más eficientemente y satisfacer mejor las necesidades de la organización y del cliente.

Los tableros Kanban pueden ser implementados de forma física o virtual, dependiendo del contexto de trabajo de la organización, de la localización de los miembros del equipo y de las condiciones laborales para el desarrollo del trabajo (León Yacelga, 2022).

Una de las características que diferencia a Kanban de otras metodologías ágiles es la ausencia de roles definidos. No obstante, esto no significa que no se puedan agregar roles adicionales en caso de ser necesarios, siempre y cuando se esté seguro que aporten valor y no generen conflictos con otros elementos del proceso (Kniberg et al., 2010).

3. METODOLOGÍA

La metodología adoptada se basa en un estudio de caso efectuado en una organización que presta servicios de salud en la ciudad de Mar del Plata, Argentina. Se aborda mediante una investigación mixta, cualitativa y cuantitativa donde se analizan datos en forma descriptiva. Las etapas a seguir para el desarrollo del trabajo son las siguientes:

- Paso 1: Relevamiento y análisis del proceso actual de reclamo de deudas. Se relevan las fases del proceso y sus interacciones mediante la utilización de un diagrama de flujo.
- Paso 2: Identificación de problemas o puntos de mejora. En base al diagnóstico inicial, se detectan los puntos críticos y se presenta una propuesta de mejora consistente en la digitalización y gestión ágil del proceso mediante la aplicación de la metodología Kanban.
- Paso 3: Propuesta de métricas y ciclos de realimentación del método Kanban.

Para la ejecución de los pasos anteriores se efectúan visitas in situ y entrevistas programadas con los actores involucrados en el proceso analizado. Todos ellos mostraron muy buena disposición y gran interés en participar en las actividades propuestas.

4. DESARROLLO Y RESULTADOS

La organización bajo estudio es una fundación radicada en la ciudad de Mar del Plata que se dedica a brindar un servicio especializado en salud mental. Proporciona un servicio profesional altamente personalizado según las características y necesidades terapéuticas de cada paciente. Los tratamientos brindados son cubiertos por obras sociales, prepagas o servicios de salud que posee cada paciente o en caso de no ser así, son abonados en forma particular.

Desde su apertura en el año 2013, su estructura organizacional fue modificándose en función del crecimiento de la cantidad de pacientes atendidos. El actual organigrama de la empresa se presenta en la Figura 1. Se evidencia una estructura de tamaño pequeño con una departamentalización por funciones. Posee una dotación de 12 trabajadores distribuidos en los diferentes niveles y tres asesores externos.

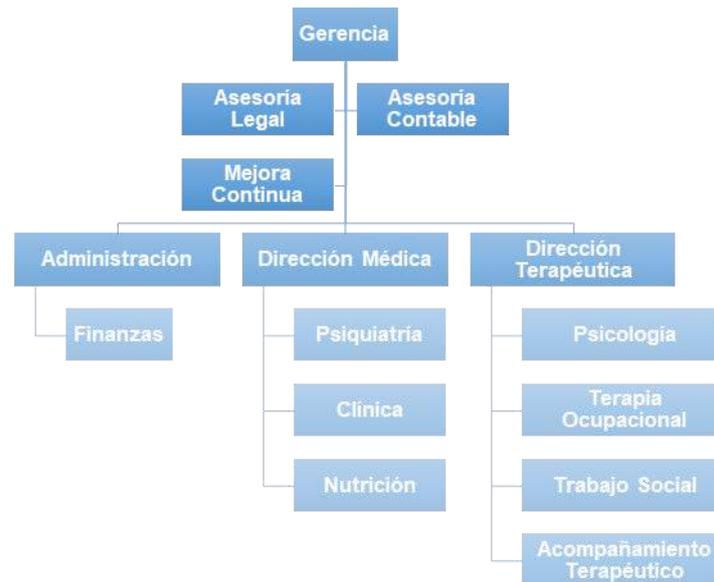


Figura 1. Organigrama actual. Fuente: Elaboración propia.

El proceso de reclamo de deudas está a cargo del área administrativa y lo desarrolla una empleada que trabaja a tiempo parcial junto con las demás tareas de finanzas. Dedicar a este proceso el 35% de su tiempo total de trabajo y gestiona en promedio 30 deudas por mes. Según la cobertura médica de los pacientes y el tiempo de retraso del cobro, el proceso presenta una serie de variantes. Para una comprensión de las actividades que lo componen, en la Figura 2 se muestra el diagrama de flujo del proceso de reclamo de deudas.

El reclamo de deudas complejas, mayores a 2 meses de retraso para pacientes particulares y 4 meses de retraso para Entidad de Cobertura Médica (ECM), son gestionadas por el Estudio Jurídico que efectúa el asesoramiento legal a la organización. El estudio gestiona en promedio 7 reclamos extrajudiciales por mes y 1 reclamo judicial cada 2 meses.

Actualmente, se ha establecido una frecuencia mensual para el desarrollo del proceso de reclamo administrativo y este comienza cuando se detecta un mes de retraso en el pago.

El proceso se realiza en función del tiempo de la deuda, la cobertura que el cliente posee, ya sea mediante una ECM o si paga el servicio de forma particular. Este proceso se desarrolla con documentación física, el registro de pagos se realiza mediante el uso de planillas de cálculo electrónicas.

Durante los últimos años, la organización pudo desempeñar adecuadamente este proceso, pero con el crecimiento de la cantidad de clientes se han generado demoras en su desarrollo y falencias para la integración, comunicación y coordinación entre el área Administrativa y el Estudio Jurídico. Esta situación, sumada al proceso de inestabilidad económica del país, ha generado retrasos en el cobro de los servicios prestados del orden del 50% del total de la facturación mensual.

De esta manera, la organización posee inconvenientes financieros asociados a la falta de liquidez, con la imposibilidad de afrontar la totalidad de las obligaciones y compromisos financieros en el corto plazo y, en consecuencia, poniendo en riesgo su solvencia futura y supervivencia a largo plazo.

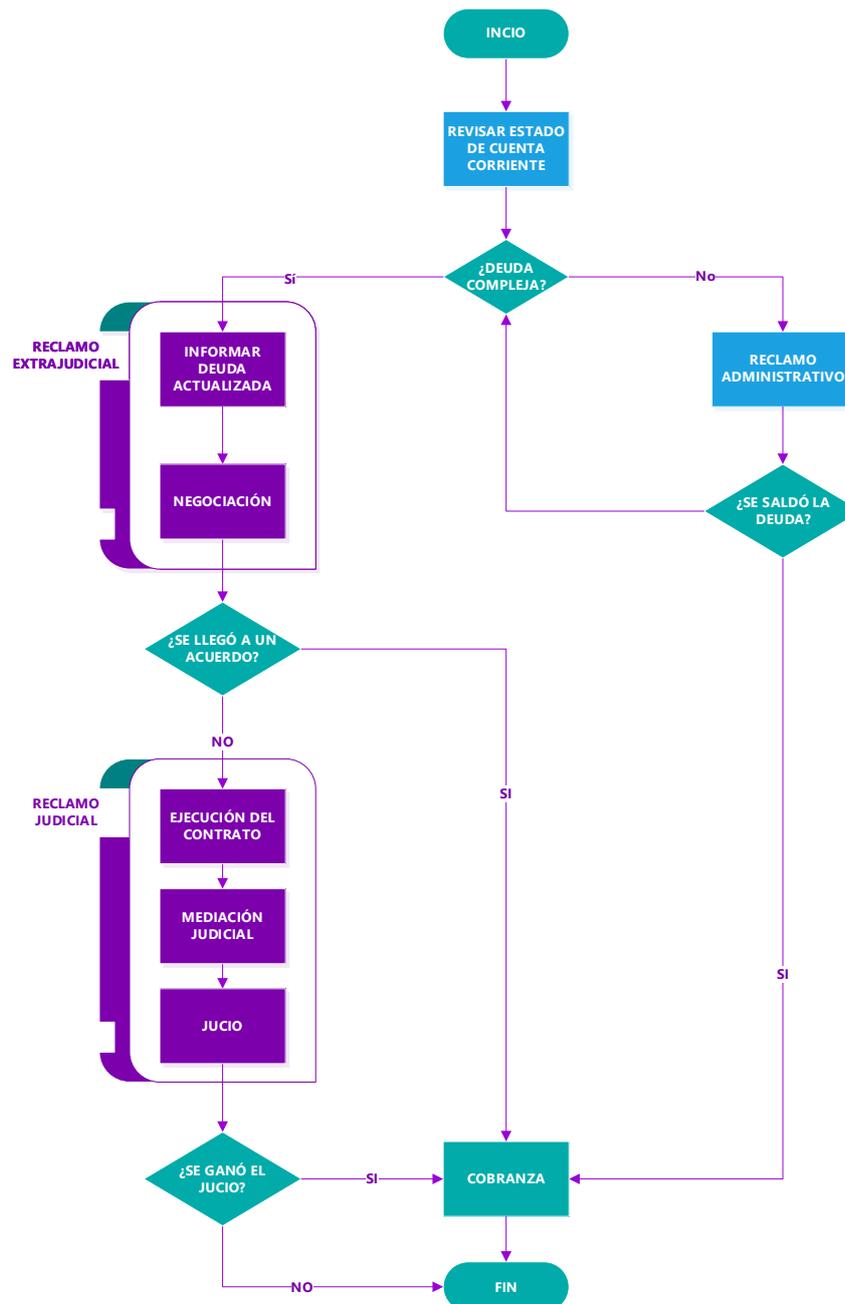


Figura 2. Proceso de reclamo de deudas. Fuente: Elaboración propia.

Para solucionar la problemática identificada en el proceso de reclamo de deudas de la organización bajo estudio, se propone:

- Incorporación de un software de gestión empresarial que permita automatizar y sistematizar el proceso, evitar la duplicidad de carga de datos, generar documentación digital y disponer de información en tiempo y forma para la toma de decisiones.
- Generación y envío de documentación por medios digitales.
- Implementación de la metodología ágil Kanban para poder gestionarlo de forma rápida, flexible e integrada.

En la Figura 3 se muestra el tablero Kanban propuesto, las tarjetas y los estados de cada una de las etapas del proceso. Como se detalla anteriormente, el proceso tiene 3 etapas: reclamo administrativo, extrajudicial y judicial.

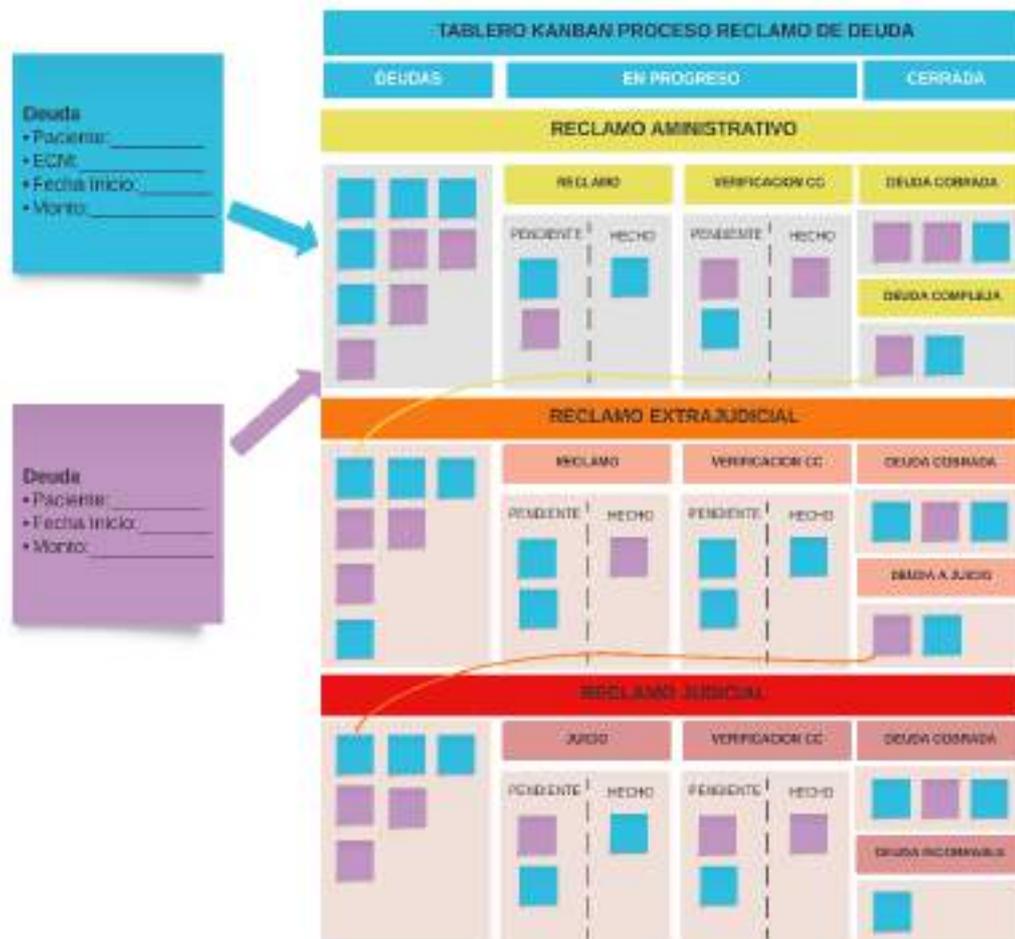


Figura 3. Tablero Kanban. Fuente: Elaboración propia.

El tablero Kanban se implementará de forma virtual, mediante la aplicación del software on-line Swift Kanban®, ya que este proceso es desarrollado por personas que trabajan en lugares físicos diferentes.

Para visualizar el flujo de trabajo el tablero se divide en los siguientes estados:

- Deudas: Corresponde al listado de deudas que se van generando y se determinan en función del estado de la Cuenta Corriente. Se crea una tarjeta con diferente color según la cobertura de cada paciente. Las tarjetas turquesas corresponden a deudas de pacientes con ECM y las violetas a deudas de pacientes particulares. En cada una de ellas se indica el paciente, ECM si corresponde, fecha de inicio y monto de la deuda. Se propone que las tareas bloqueadas se puedan visualizar mediante el uso de tarjetas especiales, color rojo, que indican que la tarea está bloqueada y requiere atención.
- En progreso: En esta etapa el responsable del área administrativa o el estudio jurídico debe comenzar su ejecución.
- Cerrada: En este estado se sitúan las deudas que fueron gestionadas, según cada una de las etapas del proceso.

Asimismo, como se muestra en la Tabla 1, se definieron claramente las políticas de cada etapa y el límite de WIP. Este último parámetro se ha establecido en función de la tasa de generación de deudas y tiempos del proceso.

Tabla 1. Políticas y WIP.

Etapas	Estados	Políticas	WIP
Reclamo Administrativo	Reclamo	- Comunicación al paciente y/o ECM del estado de deuda actual. - Envío de documentación respaldatoria	20
	Verificación CC	- Verificación de estado de deuda en Cuenta Corriente (CC) - Actualización de estado de deuda Plazo máximo: 2 meses	40
	Cobrada	- Cancelación de deuda. - Emisión y envío de comprobante de pago de deuda a paciente.	-
	Deuda compleja	- Particulares: Deuda no cancelada mayor a dos meses - ECM: Deuda no cancelada mayor a cuatro meses.	-
Reclamo Extrajudicial	Reclamo	- Comunicación al paciente y/o ECM del estado de deuda actual más intereses por mora. - Envío de documentación respaldatoria - Negociación de deuda	7
	Verificación CC	- Verificación de estado de deuda - Actualización de estado de deuda.	14
	Cobrada	- Cancelación de deuda e intereses por mora - Emisión y envío de comprobante de pago de deuda a paciente y /o ECM	-
	Deuda a juicio	- Negociación frustrada	-
Reclamo Judicial	Juicio	- Ejecución del contrato - Mediación judicial - Juicio	2
	Verificación CC	- Verificación de estado de deuda - Actualización de estado de deuda.	4
	Cobrada	- Cancelación de deuda e intereses por mora. - Emisión y envío de comprobante de pago de deuda a paciente y /o ECM	-
	Deuda incobrable	- Juicio con sentencia desfavorable	-

En la Tabla 2 se sugiere un conjunto de métricas que permiten evaluar el rendimiento actual del proceso y detectar puntos de mejora. Se recomienda calcular estas métricas según el tipo de cobertura del paciente.

Cabe destacar que la duración total del proceso (también conocida como "lead time") estará determinada por la duración de la deuda en cada uno de los estados por los que atraviesa. Para una evaluación más completa, resulta necesario determinar el WIP, los bloqueos y el análisis de gráficos de flujo acumulado.

Para mantener el proceso controlado, propiciar un cambio evolutivo y facilitar la toma de decisiones de cada nivel, se propone implementar, en una primera etapa, los siguientes circuitos de retroalimentación:

- Revisión de las operaciones y riesgos: La revisión de operaciones tiene como objetivo comprender el balance entre y a través de los servicios y el despliegue de recursos para maximizar la entrega de valor y así mejorar la eficiencia y eficacia del proceso. La revisión de riesgos tiene la finalidad establecer los riesgos de las entregas efectivas. Se establece una frecuencia mensual para estas reuniones, manteniendo así un monitoreo constante del proceso.

- Reunión de realimentación: Sirve para mover los ítems de trabajo a través del punto de compromiso. Es decir, se revisa el estado de los ítems de WIP y se decide si se pueden mover a la siguiente columna del tablero. Además, para supervisar la preparación de opciones para una selección futura, se realiza la revisión de los elementos de trabajo que están en la cola de espera, en la columna "pendiente" y se preparan opciones para seleccionar cuál será el próximo elemento de trabajo a mover al proceso. La periodicidad de las reuniones de realimentación es una cada dos semanas, es decir su frecuencia es quincenal.
- Reunión de Kanban: Es una reunión semanal para coordinar la autoorganización y revisión de la planificación del equipo de trabajo. Esta reunión resulta ser una práctica clave para el éxito de Kanban ya que permite que los miembros del equipo trabajen en una forma colaborativa y autónoma y para que se enfoquen en la mejora continua del proceso.

Para este caso particular, se considera conveniente la definición de los siguientes roles:

- Gestor de servicio: es responsable de entender las necesidades y expectativas de la gerencia, y de facilitar, seleccionar y ordenar los elementos de trabajo. Este rol lo ocupará el responsable del Área Administrativa.
- Gestor del flujo de trabajo: es responsable del flujo de trabajo entregando los elementos seleccionados y facilitando la reunión de Kanban. Este rol lo ejercerá el encargado de las tareas de Finanzas.

Tabla 2. Métricas.

Métricas	Medición
Lead Time prom. Reclamo Administrativo (LTRA)	$\frac{\sum_{i=1}^n (Fecha\ de\ cierre\ RA_i - Fecha\ de\ apertura\ RA_i)}{nRA}$ [días]
Lead Time prom. Reclamo Extrajudicial (LTRE)	$\frac{\sum_{i=1}^n (Fecha\ de\ cierre\ RE_i - Fecha\ de\ apertura\ RE_i)}{nRE}$ [días]
Lead Time prom. Reclamo Judicial (LTRJ)	$\frac{\sum_{i=1}^n (Fecha\ de\ cierre\ RJ_i - Fecha\ de\ apertura\ RJ_i)}{nRJ}$ [días]
Lead Time. total, prom (LTT)	$LTRA + LTRE + LTRJ$ [días]
Tiempo de Ciclo prom. Reclamo Administrativo (TCRA)	$\frac{\sum_{i=1}^n (Fecha\ de\ cierre\ RA_i - Fecha\ de\ inicio\ "en\ progreso" RA_i)}{nRA}$ [días]
Tiempo de ciclo prom Reclamo Extrajudicial (TCRE)	$\frac{\sum_{i=1}^n (Fecha\ de\ cierre\ RE_i - Fecha\ de\ inicio\ "en\ progreso" RE_i)}{nRE}$ [días]
Tiempo de ciclo prom Reclamo Judicial (TCRJ)	$\frac{\sum_{i=1}^n (Fecha\ de\ cierre\ RJ_i - Fecha\ de\ inicio\ "en\ progreso" RJ_i)}{nRJ}$ [días]
Tiempo de ciclo total prom. (TCT)	$TCRA + TCRE + TCRJ$ [días]
Tiempo de espera prom. Reclamo Administrativo (TCRA)	$LTRA - TCRA$
Tiempo de espera prom. Reclamo Extrajudicial (TCRE)	$LTRE - TCRE$
Tiempo de espera prom. Reclamo Judicial (TCRJ)	$LTRJ - TCRJ$
Tiempo de Espera Total prom.	$LTT - TCT$

5. CONCLUSIONES

El presente trabajo consistió en el desarrollo de una propuesta de mejora para la digitalización del proceso reclamo de deudas de una organización de salud de la ciudad de Mar del Plata.

La incorporación del software de gestión ha generado un cambio significativo en el método de trabajo, reduciendo actividades innecesarias y duplicadas y permitiendo el acceso a la información requerida para la toma de decisiones.

La metodología ágil propuesta contribuirá a la gestión efectiva y sistémica del proceso de gestión de reclamo de deudas, al tener en cuenta las necesidades y características de la organización en sus distintos niveles. Debido a su gran versatilidad, facilitará la realización de cambios según las necesidades que surjan y gestión de los recursos de manera coordinada, integral y sin grandes formalismos.

Esta propuesta pretende solucionar los problemas financieros de la organización, al propiciar el aumento de la cantidad de deudas canceladas y la reducción de los tiempos de regularización. En consecuencia, se concluye que la digitalización y gestión ágil del proceso analizado generará un impacto positivo en las finanzas de la organización, tanto en el corto como en el largo plazo, al aumentar sus niveles de liquidez, facilitar a futuro su solvencia y competitividad y al agregado de valor continuo para la organización.

6. REFERENCIAS

Aguiar, Y. B. (2020). *Digital revolution: Strategies to accelerate business transformation*. Nueva Jersey: John Wiley and Sons.

Anderson, D. (2010). *Kanban: Successful Evolutionary Change for Your Technology*. Washington: Blue Hole Press.

Anderson, D., y Carmichael, A. (2016). *Essential Kanban Condensed*. Lean Kanban University. Recuperado de: <https://kanbanbooks.com/essential-kanban-condensed/>

Cavusgil, S. T., Knight, G. A. y Riesenberger, J. R. (2020). *International business: The new realities*. Nueva York: Pearson Education.

Clemons, E. K. (2019). *New patterns of power and profit: A strategist's guide to competitive advantage in the age of digital transformation*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-00443-9>

Davis, G. F. (2016). What might replace the modern corporation? Uberization and the web page enterprise. *Seattle University Law Review*, 39(2), 501-516. Recuperado de: https://webuser.bus.umich.edu/gfdavis/Papers/Davis_SULR_2016.pdf.

Kappelman, L., Johnson, V., Torres, R., Maurer, C. y McLean, E. (2019). A study of information systems issues, practices, and leadership in Europe. *European Journal of Information Systems*, 28(1), 26-42. <https://doi.org/10.1080/0960085X.2018.1497929>

Kirovska, N., y Koceski, S. (2015). Usage of Kanban methodology at software development teams. *Journal of Applied Economics and Business*, 3(3), 25-34. Recuperado de: <https://www.aebjournal.org/articles/0303/030302.pdf>

Kniberg, H., Skarin, M., Poppendieck, M., & Anderson, D. (2010). Kanban and Scrum - making the most of both. C4Media Inc.

León Yacelga, A., y Checa Cabrera, M. (2022). Uso de tableros Kanban como apoyo para el desarrollo de las metodologías ágiles. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(S2), 208-214. Recuperado de: <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/2760>

McGrath, R. y McNanus, R. (2020). Discovery-driven digital transformation. *Harvard Business Review*, 98(3), 124-133. Recuperado de: <https://enterprisiers-project.com/sites/default/files/discovery-driven-transformation.pdf>

Páez-Gabriunas, I., Sanabria, M., Gauthier-Umaña, V., Méndez-Romero, R. A. y Rivera Virgüez, L. (2022). Transformación digital en las organizaciones. Editorial Universidad del Rosario. <https://doi.org/10.12804/urosario9789587848366>

Pérez, P. (2012). *Guía comparativa de Metodologías Ágiles* (Tesis de grado en Ingeniería Informática de Servicios y Aplicaciones). Universidad de Valladolid, Valladolid, España Recuperado de: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/1495/TFGB.117.pdf?sequence=1>

Perkin, N. y Abraham, P. (2017). *Building the agile business through digital transformation*. Nueva York: Kogan Page Publishers.

Tabone, L. B., Mortara, V. A., y Dimarco, D. M. (2023). Metodología ágil para el desarrollo e implementación de un sistema de información en una organización de servicios. *Revista Internacional de Ingeniería Industrial- AACINI*, 2(3), 8-23. Recuperado de: <http://www3.fi.mdp.edu.ar/otec/revista/index.php/AACINI-RIII/issue/view/7/AACINI-RIII%202022%20N%C2%B06%20-%20N%C3%BAmero%20completo>

Yepes González, J., Pardo Calvache, C., y Gómez Gómez, S. (2015). Revisión sistemática acerca de la implementación de metodologías ágiles y otros modelos en micro, pequeñas y medianas empresas de software. *Revista Tecnológica ESPOL - RTE*, 28(5), 464-479. Recuperado de: <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/454>

Transformación digital de los procesos internos de una empresa de alimentos panificados

Tabone, Luciana Belén

ltabone@fi.mdp.edu.ar

Universidad Nacional de Mar del Plata (Argentina).

Mortara, Verónica Aída

vmortara@fi.mdp.edu.ar

Universidad Nacional de Mar del Plata (Argentina)

Fecha de recepción RIII: 19/04/2024

Fecha de aprobación RIII: 23/10/2024

RESUMEN

Es objetivo del presente trabajo el relevamiento y análisis de las tecnologías de la información y comunicación adoptadas en una empresa alimenticia dedicada a la elaboración de productos panificados de la ciudad de Mar del Plata, Argentina. Para comprender cómo la empresa genera, transforma, almacena y reporta los datos, se analizan las interacciones de los diferentes flujos de información en los procesos internos de la organización mediante la elaboración de mapas de proceso, diagramas de flujo de información y auditorías tecnológicas. En base al diagnóstico tecnológico inicial, se aplica la metodología Investigación Operativa Soft con el propósito de detectar en forma participativa las principales debilidades del actual sistema de información y los impactos que generan en las distintas áreas. Como resultado, se determinan las necesidades de incorporación de tecnologías de la información y comunicación para que la empresa pueda afrontar un proceso de transformación digital que le permita mejorar la disponibilidad de información para la toma de decisiones y agregar valor a sus operaciones.

Palabras Claves: transformación digital; información; investigación operativa soft; agregado de valor.

Digital transformation of the internal processes of a baked food company

ABSTRACT

The objective of this work is the survey and analysis of the information and communication technologies adopted in a food company dedicated to the production of baked goods in the city of Mar del Plata, Argentina. To understand how the company generates, transforms, stores and reports data, the interactions of the different information flows in the organization's internal processes are analyzed by developing process maps, information flow diagrams and technological audits. Based on the initial technological diagnosis, the Soft Operational Research methodology is applied with the purpose of participatively detecting the main weaknesses of the current information system and the impacts they generate in the different areas. As a result, the needs for incorporating information and communication technologies are determined so that the company can face a digital transformation process that allows it to improve the availability of information for decision making and add value to its operations.

Keywords: digital transformation; information; soft operational research; added value.

Transformação digital dos processos internos de uma empresa de produtos de panificação

RESUMO

O objetivo do presente trabalho é o levantamento e análise das tecnologias da informação e comunicação adotadas por uma empresa alimentícia dedicada à elaboração de produtos de panificação na cidade de Mar del Plata, Argentina. Para compreender como a empresa gera, transforma, armazena e relata os dados, são analisadas as interações dos diferentes fluxos de informação nos processos internos da organização, por meio da elaboração de mapas de processo, diagramas de fluxo de informação e auditorias tecnológicas. Com base no diagnóstico tecnológico inicial, aplica-se a metodologia de Investigação Operacional Soft com o propósito de detectar de forma participativa as principais fraquezas do atual sistema de informação e os impactos que geram nas diferentes áreas. Como resultado, são determinadas as necessidades de incorporação de tecnologias da informação e comunicação para que a empresa possa enfrentar um processo de transformação digital que lhe permita melhorar a disponibilidade de informação para a tomada de decisões e agregar valor às suas operações.

Palavras chave: transformação digital; Informação; pesquisa operacional leve; valor adicionado.

1. INTRODUCCIÓN

La tecnología ha transformado la forma en que las organizaciones operan, convirtiendo la transformación digital en un aspecto crucial para su supervivencia y éxito a largo plazo. Específicamente, la transformación digital de los procesos organizacionales implica la redefinición y mejora de las operaciones internas de una organización mediante la aplicación de tecnologías digitales. Este proceso de transformación es esencial para mantenerse competitivo en un entorno empresarial en constante evolución. (Davis, 2016; Clemons, 2019; Cavusgil et al., 2020)

Para lograr la competitividad se requiere que las organizaciones adopten filosofías y herramientas modernas que proporcionen la capacidad de diagnosticar y mejorar el estado deseado de funcionamiento de las mismas. Este cambio de enfoque, modifica la forma tradicional de trabajo, la forma de optimizar los procesos y reducir los desperdicios de tiempo, costo y espacio (Barcia y De Loor, 2007), a partir de la identificación de las actividades que generan valor agregado en cada uno de sus procesos. (Nash y Poling, 2008). El auge de las tecnologías de la información y las comunicaciones ha sido un factor fundamental para la aplicación de este enfoque ya que ha facilitado el funcionamiento de la cadena de suministro de manera integral y de cada sistema que la compone, trascendiendo las fronteras o límites de la empresa.

En este contexto, las empresas se ven condicionadas tanto por factores externos como internos para la toma de decisiones en entornos complejos e inciertos. Una de estas decisiones es determinar qué tecnologías incorporar, siendo esto clave para establecer cómo se posicionará la organización a futuro y su evolución en el contexto de la cuarta revolución industrial (Valqui Vidal, 2010). La incertidumbre en la toma de decisiones se evidencia en el hecho de que las principales variables que deben considerarse al analizar un problema son siempre cambiantes y por la fuerte incidencia de las personas que participan. (Tabone y Mortara, 2021). De esta manera, los resultados del proceso decisional dependen tanto de cuestiones tecnológicas como de las personas o grupos humanos que los operan y resulta ineludible la aplicación de metodologías participativas que involucren a todos los actores del proceso y fortalezcan el proceso decisorio. (Zanazzi et al., 2014; Tabone et al., 2021)

El presente trabajo consiste en un estudio de caso sobre una empresa alimenticia marplatense y tiene como objetivo el relevamiento y análisis de las tecnologías de la información y comunicación adoptadas en sus procesos claves para identificar oportunidades de mejora a su sistema de información. Se analizan los procesos claves de la empresa, los actores involucrados y el manejo y flujo de información entre las áreas de la organización, para conocer, de esta manera, las tecnologías empleadas y determinar las posibles modalidades de agregado de valor mediante la aplicación de la metodología participativa Investigación Operativa Soft (SSM, por sus siglas en inglés).

2. MARCO TEÓRICO

Transformación digital

El proceso de transformación digital de las organizaciones implica una reestructuración integral de sus recursos, prioridades y procedimientos para adaptarse al entorno actual, marcado por el potencial de la tecnología digital (Perkin y Abraham, 2017). La implementación exitosa de este proceso requiere que los líderes encuentren un equilibrio entre impulsar la innovación tecnológica y garantizar la continuidad operativa eficiente, mientras atienden las necesidades y preocupaciones de los actores claves involucrado en este proceso (Páez-Gabriunas, 2022).

Perkin y Abraham (2017) destacan tres características básicas de este proceso de transformación digital. En primer lugar, subrayan su inevitabilidad, señalando que se trata de un fenómeno en constante evolución al cual cada organización debe decidir si enfrentarlo de manera activa o pasiva. En segundo lugar, enfatizan que implica un cambio profundo, distinguiéndolo de simples modificaciones superficiales al modelo de negocio y requiriendo por una completa reinención de las prácticas tradicionales de la organización. Finalmente, resaltan que va más allá de la mera implementación de tecnología, implicando una revisión integral de la estrategia, los procesos y la cultura organizativa, así como la adaptación de comportamientos e individuos a los nuevos paradigmas digitales. Por lo tanto, la digitalización va más allá de la implementación de nuevas herramientas tecnológicas; implica una remodelación fundamental de la forma en que una empresa opera y se relaciona con sus partes interesadas, con el objetivo de agregar valor a todas las interacciones (Aguar, 2020).

Esto presenta desafíos significativos para los líderes, quienes tienen un papel crucial como impulsores del cambio en el proceso de transformación digital. Se requiere encontrar un equilibrio adecuado entre fomentar la adopción de tecnologías digitales y asegurar la eficacia operativa de la organización, al mismo tiempo que se prioriza el bienestar de los miembros y colaboradores clave involucrados en este proceso (Páez-Gabriunas, 2022).

Soft System Methodology

El proceso de toma de decisiones es un tema complejo y es crítico en el éxito de las organizaciones. Las decisiones que se toman son complejas e importantes; requieren pensamiento y discusión cuidadosa al ejercer la función gerencial. La teoría de la decisión es un método sistemático para estudiar la toma de decisiones. Una decisión eficaz se caracteriza por su fundamento en la lógica, tomando en consideración de manera exhaustiva todos los datos disponibles y evaluando todas las alternativas posibles. (Manrique Tisnés, 2019)

En particular, las decisiones de carácter estratégico y organizativo tienden a ser menos estructuradas. Esto se debe a la complejidad de encontrar situaciones recurrentes en estos contextos, lo que hace que la aplicación de soluciones predefinidas sea un desafío. Por el contrario, se requiere la creación de criterios de evaluación y enfoques específicos para abordar cada situación de manera adecuada. Es importante resaltar que, en muchos casos, los datos pertinentes provienen de fuentes externas y se caracterizan por su naturaleza subjetiva, especialmente en entornos caracterizados por la presencia de riesgos e incertidumbre. (Mariscal Briones, 2009)

Debido a que es imposible determinar y controlar todas las variables o factores que inciden en una situación, es que se busca a través de modelos representar la realidad para su análisis, en el que se espera que las decisiones tomadas sean satisfactorias, aunque no siempre óptimas dentro del contexto de racionalidad de quiénes las deben tomar. Las decisiones que los gerentes efectúen se desplegarán en todos los niveles de la organización traducidas en objetivos y acciones más específicas y concretas en cada nivel hacia abajo. La información requerida en estas decisiones representa el punto de partida para llevar a cabo acciones que finalmente afectarán el desempeño de la organización. (Ganga-Contreras, et al., 2018)

Frente a las diversas situaciones problemáticas, la organización crea grupos de trabajo para resolverlas. Es recomendable que el grupo de trabajo reciba apoyo de un grupo de investigadores operacionales durante el proceso de resolución de la situación problemática, de tal manera que se llegue a un plan de acción a ser aprobado por los tomadores de decisiones. Dependiendo de la situación problemática que se desea resolver se usarán métodos cuantitativos, cualitativos, participativos, innovadores o una

combinación de ellos (mutimetodologías). De manera muy general, Valqui Vidal (2010) define Investigación Operativa como una disciplina de consulta basada en la investigación de una situación problemática real usando métodos que dan soporte al grupo de trabajo en la elaboración de un plan de acción para la solución de los problemas. Las características esenciales del método de la Investigación Operativa son dos: la estructuración de la situación problemática, y el modelamiento como una herramienta para resolver problemas. Según cómo se determinen las características de trabajo del investigador de operaciones se originan los diferentes tipos de Investigación Operativa en la práctica: La Investigación Operativa dura o técnica, la SSM y la Investigación Operativa Crítica. En particular la SSM promueve la estructuración de problemas a través de información cualitativa, entrevistas, diálogo sistémico y holístico, talleres, escenarios, métodos estratégicos, mapas cognitivos y métodos sistémicos, a la vez que favorece la participación y la facilitación de procesos grupales (Valqui Vidal, 2010; Wang, et al., 2015). La estructuración de problemas es un proceso de aprendizaje iterativo que persigue la creación de una representación formal, en la que se integran los componentes objetivos del problema con los aspectos subjetivos de los actores involucrados, con el propósito de poner de manifiesto de manera clara y explícita su sistema de valores (den, 1988; Checkland y Poulter, 2020).

Checkland y Holwell (1998) resumen el desarrollo de SSM para la estructuración del problema en siete etapas o pasos que se describen a continuación:

1. Expresar la situación problema. En esta etapa inicial, se fomenta una discusión abierta acerca de la situación problemática que necesita ser abordada de manera formal. Se buscan formas de delimitar claramente el problema en cuestión. Los participantes expresan sus opiniones sobre el sistema de información existente mediante una sesión de lluvia de ideas, identificando las principales debilidades, sus áreas de origen y su impacto.
2. Representación de la situación expresada mediante la técnica de grafico enriquecido. Este paso consiste en definir formalmente el problema, analizando las situaciones que lo generan y sus consecuencias. En el gráfico se visualizan las áreas involucradas con colores diferentes. Las líneas que salen por área representan las debilidades que generan, identificadas con su número correspondiente, y finalizan en las áreas impactadas.
3. Constituir definiciones raíces. El propósito es definir mediante una sola oración un proceso de la organización que requiere ser transformado o cambiado. Una definición raíz bien estructurada debe contener tres partes que son: qué hacer, cómo hacerlo y por qué hacerlo. Las definiciones raíces se elaboran según los diferentes puntos de vista de las personas involucradas. La metodología propone especificar seis elementos que contribuyen a profundizar los alcances de la definición raíz y que se resumen en la sigla CATWOE (Tabla 1).

Tabla 1: Significado de CATWOE.

Inicial	Significado
C	Costumers – Clientes, beneficiarios o afectados con el proceso de transformación
A	Actors – Personas involucradas
T	Transformation process – Transformación, conversión de las entradas en salidas
W	World viewó Weltanschauung – Punto de vista
O	Owners – Stake holders, todos aquellos que pueden parar la transformación
E	Enviroment – Entorno

4. Elaborar modelos conceptuales. Para cada definición raíz, se elaboran modelos conceptuales que representen las actividades necesarias para llevar a cabo los cambios delineados en el punto 3.

5. Comparación de modelos. Se efectúa una comparación entre los modelos creados en los pasos 2 y 4. Esto permite visualizar las diferencias y similitudes entre la situación actual y el modelo propuesto.
6. Definición de cambios factibles. Tras analizar y comparar la situación actual con el modelo ideal, el equipo de trabajo llega a un consenso para definir y proponer los cambios que deben implementarse para abordar el problema planteado inicialmente.
7. Transformaciones para mejorar la situación problemática. Este paso se refiere a la implementación de los cambios propuestos que fueron detectados en el paso 6. Es importante destacar que este último paso no marca el final de la metodología, ya que su aplicación se convierte en un ciclo continuo de conceptualización y habilitación de cambios, con el objetivo constante de mejorar la situación inicial.

3. METODOLOGÍA

La metodología implementada para el presente trabajo se basa en un estudio de caso de una empresa alimenticia dedicada a la elaboración de productos panificados de la ciudad de Mar del Plata, Argentina.

El estudio se aborda mediante una investigación cualitativa, donde se analizan datos en forma descriptiva mediante el análisis de información obtenida de fuentes de datos secundarias y entrevistas no estructuradas a los actores involucrados.

Para comprender de forma sencilla la dinámica de los diferentes flujos de información en los procesos internos de la organización se elabora un mapa de procesos y un diagrama de flujo de información. Luego se realizará una auditoría tecnológica para determinar las herramientas informáticas utilizadas por cada una para tomar datos de los distintos procesos, transformarlos en información y reportarlos a otras áreas.

En función del diagnóstico inicial se detectan las principales debilidades del sistema de información y mediante la implementación de SSM, se efectúa la estructuración del problema y se realiza una propuesta de mejora que permita agregar valor a los procesos de la empresa mediante el aprovechamiento e incorporación de tecnologías de la información y la comunicación. Se realizan una serie de reuniones de trabajo programadas con los actores involucrados en los procesos claves de la organización y los Investigadores de Operaciones. Se desarrollan los pasos 1 a 5 de la metodología SSM, quedando fuera del alcance de este trabajo sus dos últimos pasos (6 y 7).

4. DESARROLLO Y RESULTADOS

Descripción de la empresa

La organización bajo estudio es una empresa familiar establecida en la ciudad de Mar del Plata que se dedica a la producción y venta de dos líneas de productos panificados, pan de molde y pan de Viena. Estos productos se elaboran utilizando ingredientes saludables y se presentan en envases listos para el consumo. La empresa tiene como público objetivo a la población en general, y abastece tanto el mercado local de Mar del Plata como diversas localidades dentro de la provincia de Buenos Aires, el resto del país y la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA).

Desde su comienzo en 2015, la estructura organizacional de la empresa ha experimentado modificaciones en respuesta al crecimiento de la demanda. Lo que en sus inicios fue una comercialización enfocada en el ámbito local, ha evolucionado hacia una presencia que se extiende a diversas provincias de todo el país.

Analizando a la organización bajo un enfoque de procesos, en la Figura 1 se presenta el mapa de procesos de la misma. Las decisiones estratégicas son tomadas por la Gerencia, y en sus comienzos, al ser una organización pequeña esta área también se encargaba de algunas tareas y toma de decisiones relacionados a los procesos claves y de apoyo.

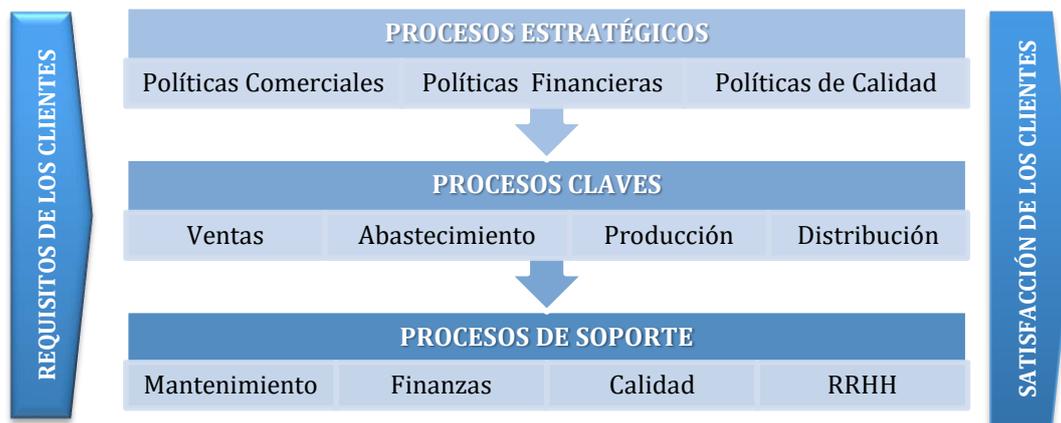


Figura 1: Mapa de procesos actual.

Como se puede observar, la organización cuenta con tres procesos estratégicos que proporcionan directrices a los demás niveles. Estos definen los objetivos que persigue la organización en relación a la políticas y estrategias comerciales, financieras y de calidad. Los procesos claves u operativos abarcan los procesos de ventas, abastecimiento, producción y distribución. Estos procesos son esenciales para la satisfacción de los clientes y tienen un impacto directo en el agregado de valor. Por último, se identifican cuatro procesos de apoyo que brindan soporte a los procesos claves y estratégicos. Estos son mantenimiento, finanzas, calidad y recursos humanos (RRHH).

Los procesos de abastecimiento abarcan la gestión de proveedores, las compras de materia prima e insumos, logística de entrada y la gestión de almacenes. El proceso productivo comienza con la planificación de la producción, en función de la demanda de productos registrada por ventas. Se busca mantener niveles de stock mínimo ya que los productos son perecederos. Una vez que el producto es envasado, se almacenan en los depósitos y luego comienza el proceso de distribución a las unidades de venta. La empresa emplea personal externo para llevar a cabo la entrega de productos en el área de Mar del Plata y los envíos fuera de la ciudad se realizan mediante una flota propia de vehículos.

El proceso de mantenimiento abarca las actividades de limpieza de las instalaciones, mantenimiento preventivo y correctivo. El proceso de recursos humanos se limita a las actividades de contratación y selección de personal y a la liquidación de sueldos. El proceso de calidad consiste en actividades de control de calidad, mejora continua y gestión de desperdicios.

Sistema de información y comunicación

A partir del análisis de los procesos estudiados, se construye un diagrama de (Figura 2) que muestra la información requerida y generada por cada uno de los actores claves la empresa y su cadena de suministro. Dichas interacciones se detallan en la Tabla 2.

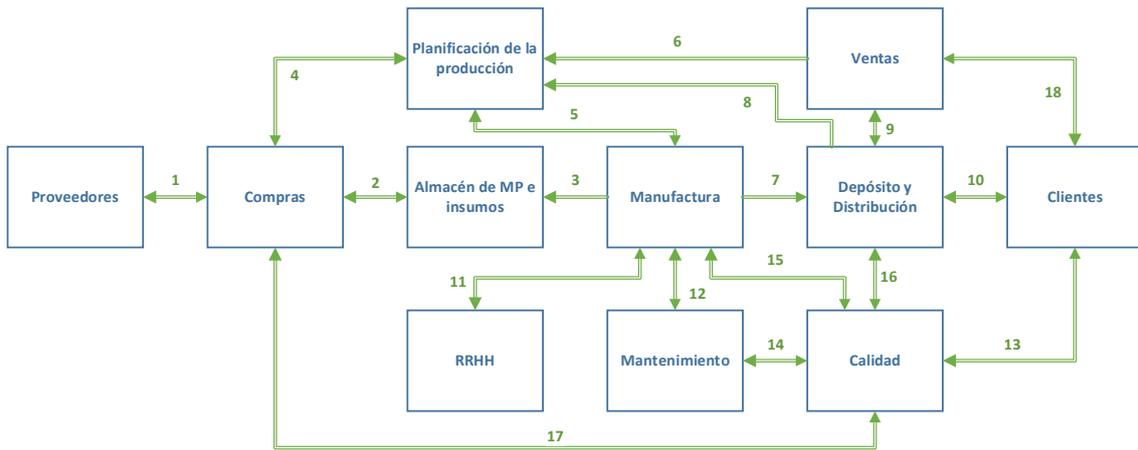


Figura 2: Flujo de información actual

Tabla 2: Flujos de información

Áreas	Flujo de Información	
Proveedores - Compras	1. Los proveedores envían información vía mail/telefónica a compras sobre la fecha en que las MP e insumos van a llegar a planta y en qué cantidades.	1'. Compras les brinda información vía mail/telefónica a los proveedores sobre los requerimientos de MP e insumos y plazos de entrega requeridos.
Compras – Almacén de MP e insumos	2. Compras comunica a Almacén sobre los arribos de los proveedores para que en organicen la descarga y almacenamiento.	2'. Almacén informa a Compras la recepción de pedidos.
Almacén de MP e insumos – Manufactura		3'. Manufactura informa las cantidades requeridas de insumos y MP para producción diaria, como también el sobrante para que se descuenta de los que se debe entregar.
Compras - Planificación de la Producción	4. Compras informa la disponibilidad de MP e insumos.	4'. Planificación informa las cantidades requeridas de insumos y MP para la producción.
Planificación de la producción - Manufactura	5. Planificación de la producción informa las cantidades requeridas de cada producto mediante ordenes de producción.	5'. Manufactura informa diariamente la producción obtenida, desperdicios y toda la información requerida para la trazabilidad del producto.
Planificación de la producción - Ventas	6. Ventas informa las cantidades demandadas de las distintas variedades de producto diariamente.	
Manufactura – Deposito y Distribución	7. Manufactura informa la cantidad de producto terminado para ser almacenado.	
Planificación de la Producción – Depósito y Distribución		8'. Depósito informa los niveles de stock de cada producto diariamente.
Ventas – Deposito y Distribución.	9. Ventas informa los pedidos de los clientes locales y del resto del país (Fecha, cantidad y tipo de producto)	9'. Distribución informa la fecha de despacho y arribo de cada uno de los pedidos.
Depósito y Distribución – Clientes	10. Distribución informa la fecha de despacho y arribo del pedido al cliente.	10'. Cliente informa si ocurre algún inconveniente con el envío.
RRHH - Manufactura	11. RRHH informa el personal disponible para los puestos de trabajo de manera diaria.	11'. Manufactura informa requerimientos de capacitación e incorporación de personal.
Mantenimiento – Manufactura	12. Mantenimiento informa las actividades de mantenimiento programadas al área productiva.	12'. Manufactura se informa sobre algún problema o fallo en el funcionamiento de equipos.
Cliente - Calidad	13. El cliente informa reclamos relativo a la calidad de los productos, tiempos de entrega, entre otros.	13'. Calidad informa posibles soluciones al reclamo realizado.
Calidad – Mantenimiento	14. Calidad informa a mantenimiento acciones de mejora referidas a las actividades de mantenimiento	14'. Mantenimiento informa las no conformidades detectadas y el avance de acciones implementadas.
Calidad – Manufactura	15. Calidad informa a producción acciones de mejora referidas al proceso productivo	15'. Manufactura informa las no conformidades detectadas y el avance de acciones implementadas.

Calidad – Compras	16. Calidad informa a producción acciones de mejora referidas al proceso de abastecimiento.	16'. Compras informa las no conformidades detectadas y el avance de acciones implementadas.
Calidad – Deposito y Distribución	17. Calidad informa a producción acciones de mejora referidas al proceso de distribución.	17'. Distribución informa las no conformidades detectadas y el avance de acciones implementadas.
Cliente - Ventas	18. El cliente realiza los pedidos a los vendedores.	18'. Ventas confirma la aceptación del pedido.

En base al relevamiento anterior, se realiza una auditoria para conocer las tecnologías presentes y la manera en que se manipulan los datos en la empresa en estudio. Se realizan entrevistas no estructuradas a los actores claves de los procesos analizados en las distintas áreas de la organización. Específicamente, se analizan las herramientas utilizadas para la generación de datos, su transformación y reporte a nivel general. En la Tabla 3 se presentan las herramientas que se utilizan en las diferentes áreas para manejo de datos.

Tabla 3: Herramientas de manejo de datos utilizadas por las áreas.

Área	Registro	Almacenamiento	Reporte
Ventas	Excel, Trello	Excel	Teléfono, correo electrónico y comunicación verbal. Cuando tienen que enviar información detallada lo hacen por mail con gráficos o información en Excel.
Compras y Almacén MP	Excel, registros en papel	Excel	Teléfono, app mensajería instantánea y comunicación verbal.
Planificación de la Producción	Excel, registros en papel	Excel	Se reporta el plan de producción en formato papel con la información de Excel. App mensajería instantánea.
Fabricación	Registros en papel	Excel	Cuando tienen que enviar información detallada lo hacen por mail con gráficos o información en Excel. APP mensajería instantánea
Distribución y Deposito	Excel, Trello	Excel	Teléfono, app mensajería instantánea, correo electrónico y comunicación verbal.
Mantenimiento	Registros en papel	Excel	App mensajería instantánea, correo electrónico y comunicación verbal.
RRHH	Registros en papel	Excel	App mensajería instantánea, correo electrónico y comunicación verbal.
Calidad	Excel y registros en papel	Excel	App mensajería instantánea y comunicación verbal. Cuando tienen que enviar información detallada lo hacen por mail con gráficos o información en Excel.

Hay un claro predominio en el uso de papel y Excel para registrar datos. Respecto del almacenamiento, únicamente se utilizan planilla de cálculo electrónicas. La información de registros en papel se digitaliza en Excel para su posterior análisis y reporte.

El uso del software Trello se limita a la gestión de actividades comerciales, donde se realiza la carga y seguimiento de cada pedido de clientes desde la venta hasta su entrega.

Respecto a las herramientas de reporte, en la mayoría de las áreas se utilizan canales informales de comunicación como teléfono, app de mensajería instantánea (interna) y comunicación verbal.

También se utiliza como herramienta de reporte el correo electrónico, donde se envían informes con los gráficos e indicadores de desempeño de cada área.

Además, es importante aclarar los archivos quedan almacenados en el servidor local, esto implica que cada área solamente puede acceder únicamente a la información propia, Únicamente las áreas de Administración y Gerencia tiene acceso a toda información generada.

De esta manera, se observa que la dinámica de comunicación entre y dentro de las distintas áreas se lleva a cabo de manera informal y acotada, sin contar con un sistema que facilite el acceso a la información por parte de todas las áreas de la empresa, lo que limita la fluidez y sistematización en la transmisión de información. Es relevante resaltar que la empresa se encuentra en pleno proceso de desarrollo de su página web.

Aplicación de Soft System Methodology

Para comenzar con el proceso de estructuración del problema se desarrollan los pasos de la SSM. En primer lugar, mediante la aplicación de la herramienta de trabajo grupal lluvia de ideas, los participantes expresan sus opiniones sobre sistema de información actual, identificando las siguientes debilidades:

1. No se genera información para evaluar el desempeño de los proveedores.
2. No se generan registros de las recepciones de materia prima e insumos (cantidad, calidad y tiempo) para su seguimiento y control.
3. Falta de sistematización e integración de la información para la toma de decisiones
4. Falta de trazabilidad del proceso de manufactura por el uso de registro en papel.
5. No se realiza un seguimiento y análisis de los desperdicios generados en el área productiva.
6. Falta de indicadores de gestión del área comercial.
7. Falta de indicadores de gestión del área productiva.
8. Los clientes/distribuidores no pueden conocer el estado de su pedido.

Para cada debilidad se identifican las áreas de origen (O) e impacto (X) como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4: Origen e impacto de las debilidades

Debilidad	Gerencia	Ventas	Depósito/ Distribución	Almacén MP	Compras	Manufactura	Planificación de la Producción	Calidad	Clientes
1				X	O	X		X	
2				O	X		X		
3	O	X	X	X	X	X	X	X	
4			X			O	X	X	
5					X	O	X	X	
6	X	O	O						
7	X					O	O		
8			O						X
Total O	1	1	2	1	1	3	1	0	0
Total X	2	1	2	2	3	2	4	4	1

Luego, se confecciona el gráfico enriquecido (Figura 3) y se observa que las áreas más impactadas son planificación de la producción, calidad y almacén de MP. El mayor número de debilidades se originan en las áreas manufactura y depósito/distribución.

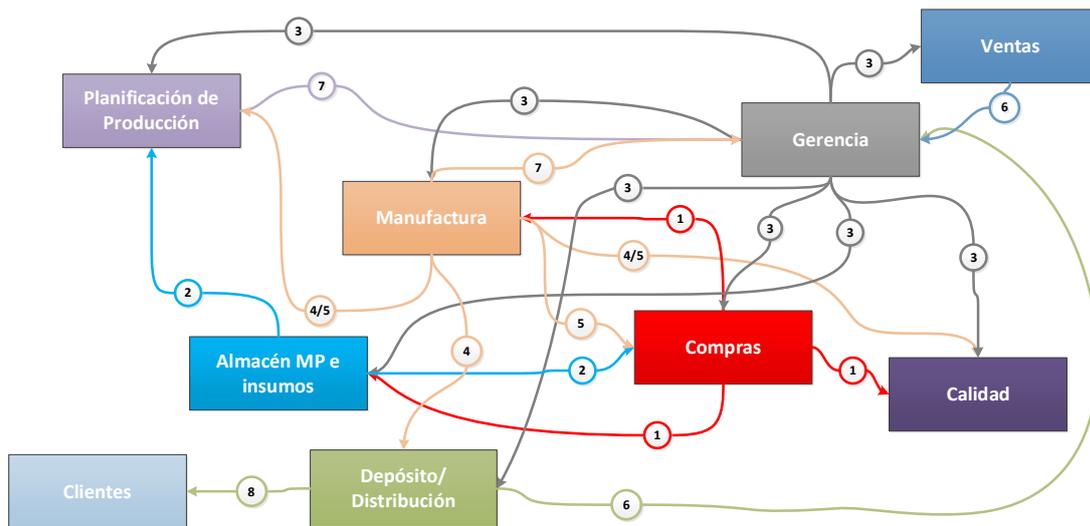


Figura 3: Grafico enriquecido

En función de estos resultados, se definen los requisitos o acciones propuestas para afrontar las debilidades detectadas y para cada una de ellas se determina las definiciones raíces y el CATWOE (Tabla 5 y 6).

Tabla 5: Acciones propuestas y definiciones raíces

ACCIONES (AC)		QUE	COMO	PORQUE
1	Incorporación de un software de gestión empresarial.	Adquisición de un software de gestión empresarial con módulos para Ventas, Abastecimiento y Producción.	Búsqueda, selección e implementación del software que mejor se adapte a las características de la empresa.	Es necesario sistematizar e integrar la información generada.
2	Implementar tableros de control con indicadores de desempeño para el área comercial y productiva.	Adquisición de un software que incluya un módulo de visualización de indicadores por área.	Adquirir un software que permita incorporar tableros de control digitales.	Para mejorar el proceso de toma de decisiones.
3	Generación de registros digitales para el proceso de recepción.	Digitalizar los datos del proceso de recepción de MP e insumos e integrarlos al módulo Abastecimiento.	Creación de un Formulario de Google integrado al sistema que indiquen número de pedido, cantidad recibida, fecha de recepción y estado de la MP e insumo.	Para seguimiento, control y análisis de la información relativa al proceso de recepción.
4	Incorporación de app interna que conecte Compras con Almacén y Calidad	Generar indicadores claves para las áreas involucradas.	Centralizando los datos generados por las áreas y utilizando herramientas para obtención de indicadores de desempeño.	Porque es necesario generar datos para evaluar el desempeño de los proveedores.
5	Implementación de registros digitales en el proceso productivo.	Digitalizar los datos de las ordenes de producción e integrarlos al módulo Producción.	Creación de un Formulario de Google integrado al sistema los datos de las ordenes de producción.	Para garantizar la trazabilidad del producto.
6	Generación de registros digitales para el análisis de los desperdicios generados	Generar indicadores que permitan calcular las mermas de producción.	Creación de Formulario de Google para recopilar los datos requeridos y que conecte con PowerBI para el cálculo de los indicadores.	Para el seguimiento y análisis de los desperdicios generados en el área productiva.
7	Incorporar un Aplicación que permita el seguimiento de los pedidos.	Tener un canal de comunicación e intercambio de información entre los últimos eslabones de la cadena de suministro.	Incorporando un software de gestión para distribución.	Para que los clientes puedan realizar el seguimiento de su pedido y analizar el cumplimiento de las fechas de entrega.

Tabla 6: CATWOE

AC	C	A	T	W	O	E
1	Gerencia, Ventas, Compras, Planificación de Producción, Manufactura, Deposito/Distribución	Gerencia, Ventas, Compras, Planificación de Producción, Manufactura, Deposito/Distribución, Calidad	Incorporar un software de gestión empresarial	Facilitar el desarrollo de actividades y la toma de decisiones operativas y estratégicas	Gerencia	Disponibilidad de presupuesto
2	Gerencia, Ventas, Compras, Planificación de Producción, Manufactura, Deposito/Distribución	Gerencia, Ventas, Compras, Planificación de Producción, Manufactura, Deposito/Distribución, Calidad	Implementar tableros de control con indicadores de gestión claves para el área comercial y productiva	Facilitar el desarrollo de actividades y la toma de decisiones operativas y estratégicas	Gerencia	Disponibilidad de presupuesto
3	Almacenes, Compras	Almacenes, Compras, Planificación de Producción, Calidad	Generar datos mediante registros digitales de la recepción de MP e insumos	Mejorar la gestión aprovisionamiento	Almacenes	Personal calificado y resistencia al cambio
4	Compras, Calidad	Compras, Almacenes, Calidad, Manufactura	Vincular información clave de los proveedores entre Compras, Almacén y Calidad	Mejorar la gestión aprovisionamiento	Almacenes - Compras	Resistencia al cambio
5	Planificación de Producción, Manufactura, Deposito/Distribución	Planificación de Producción, Manufactura, Deposito/Distribución	Generar datos mediante registros digitales del proceso productivo	Para garantizar la trazabilidad del producto	Manufactura	Personal calificado y resistencia al cambio
6	Manufactura, Compras	Manufactura, Calidad, Compras	Generar datos mediante formulario digitales sobre los desperdicios y procesarlos en PowerBI	Aumentar la productividad	Manufactura	Personal calificado y resistencia al cambio
7	Clientes, Deposito/Distribución	Clientes, Deposito/Distribución	Vincular la información de entrega del pedido entre los últimos eslabones de la cadena de suministro.	Aumentar la satisfacción del cliente y mejorar el proceso de entrega	Deposito/Distribución	Personal calificado y resistencia al cambio

Una vez construidas las definiciones raíces, el equipo de trabajo define la secuencia de actividades que creen necesarias para implementar los cambios propuestos. El mapa conceptual (Figura 4) se construye en forma integral para todas las definiciones raíces ya que es complejo plantearlo de forma individual por la integración requerida para el sistema de información.

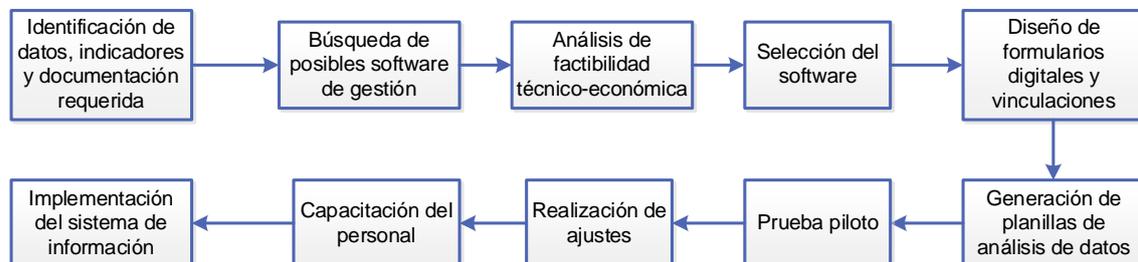


Figura 4. Mapa conceptual.

Finalmente, se realiza una comparación entre la situación actual y el modelo presentado. En la Tabla 7 Se evidencian las ventajas que implican la implementación de las propuestas de mejora al sistema de información, ya que permite la disponibilidad de información oportuna y relevante, facilitando la toma de decisiones y la tareas operativas y gerenciales. Asimismo, brindará un seguimiento del desempeño organizacional que servirá como retroalimentación para la mejora continua.

Tabla 7: Comparación de modelos

SITUACIÓN ACTUAL	MODELO PROPUESTO
La información no está disponible en tiempo y forma	La información estará disponible en el momento y por el área requerida.
El relevamiento de la información es complejo e ineficiente	La carga de registros será automática y estandarizada, disminuyendo el tiempo destinado a dicha actividad.
Las decisiones estratégicas y operativas se toman sin información suficiente	Toda la información generada por cada área estará a disposición de aquellos que la requieran como apoyo a la toma de decisiones tanto estratégicas como operativas.
Falta de indicadores de desempeño de las diferentes áreas.	Se dispondrá de reportes e indicadores de desempeño para cada área.
Desconocimiento del estado de pedidos de clientes/distribuidores.	Los clientes/distribuidores podrán realizar el seguimiento de sus pedidos.

Si bien los últimos dos pasos de la SSM no forman parte del presente trabajo, como se indica en el mapa conceptual, debe iniciar con la definición de requisitos para el sistema de información, para luego realizar la búsqueda y selección del software de gestión más adecuado para la organización, el diseño de formularios digitales y su vinculación. La fase final incluye la implementación de estas propuestas, que abarca las actividades prueba y ajuste, capacitación e implementación final.

5. CONCLUSIONES

El avance tecnológico que trajo aparejada la cuarta revolución industrial hace necesario el análisis de los recursos presentes en las empresas y las modalidades de aprovechamiento de dichos recursos para poder transitar el proceso de transformación digital.

El presente trabajo toma como caso de estudio a una empresa alimenticia radicada en la ciudad de Mar del Plata. En una primera etapa, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de los procesos de la empresa que permitió una comprensión profunda de las interacciones y futuras demandas del flujo de información. Posteriormente, mediante auditorías tecnológicas se analizaron las formas de manipulación de los datos a nivel general dentro de la organización y cómo interactúan entre sí los diferentes agentes a lo largo de la cadena de suministro. Esta herramienta facilitó el reconocimiento de necesidades de mejora y fortalezas para hacer frente a al proceso de transformación tecnológica.

En base al diagnóstico inicial, se ha implementado la metodología participativa SSM que ha facilitado la identificación sistemática y organizada de las debilidades presentes en el sistema de información actual y su impacto en las distintas áreas. Esta metodología ha resultado ser de gran utilidad para guiar el proceso de definición de los requisitos del sistema de información de la empresa bajo estudio, plantear un mapa conceptual para su futura implementación y los beneficios potenciales que esto conllevaría.

Se concluye que la multimetodología propuesta contribuye al desarrollo efectivo y sistémico del proceso de toma de decisiones, al tener en cuenta la infraestructura informacional requerida, las características

de tomadores de decisiones en relación con el uso de la información, así como las condiciones estructurales y funcionales de la empresa en sus diferentes niveles de toma de decisiones.

No obstante, es crucial destacar que su efectividad y sostenibilidad dependen en gran medida del compromiso y la participación activa de los grupos de partes interesadas. Esto se debe a que la base de esta metodología es el aprendizaje y la comprensión de situaciones problemáticas entre los actores involucrados, en lugar de abordar una situación predefinida.

Se espera que las mejoras propuestas permitan a la empresa iniciar el proceso de transformación digital, mejorar la disponibilidad de información para la toma de decisiones y agregar valor a sus operaciones, así como a toda su cadena de suministro.

6. REFERENCIAS

Aguiar, Y. B. (2020). *Digital revolution: Strategies to accelerate business transformation*. Nueva Jersey: John Wiley and Sons.

Barcia, K., y De Loor, C. (2007). Metodología para Mejorar un Proceso de Ensamble Aplicando el Mapeo de la Cadena de Valor (VSM). *Revista Tecnológica ESPOL*. Octubre, 20 (1), 31-38. Recuperado de: <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/159/103>

Cavusgil, S. T., Knight, G. A. y Riesenberger, J. R. (2020). *International business: The new realities*. Nueva York: Pearson Education.

Checkland, P., y Holwell, S. (1998). *Information, systems and information systems making sense of the field*. Nueva Jersey: John Wiley and Sons.

Checkland, P., y Poulter, J. (2020). Soft systems methodology. En M. Reynolds y S. Holwell (Eds.), *Systems approaches to making change: A practical guide* (pp. 201-253). London: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-7472-1_5

Clemons, E. K. (2019). *New patterns of power and profit: A strategist's guide to competitive advantage in the age of digital transformation*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-00443-9>

Davis, G. F. (2016). What might replace the modern corporation? Uberization and the web page enterprise. *Seattle University Law Review*, 39(2), 501-516. Recuperado de: https://webuser.bus.umich.edu/gfdavis/Papers/Davis_SULR_2016.pdf

Davis, G. F. (2016). What might replace the modern corporation? Uberization and the web page enterprise. *Seattle University Law Review*, 39(2), 501-516. Recuperado de: https://webuser.bus.umich.edu/gfdavis/Papers/Davis_SULR_2016.pdf

Eden, C. (1988). Cognitive mapping. *European Journal of Operational Research*, 36, 1-13. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(88\)90002-1](https://doi.org/10.1016/0377-2217(88)90002-1)

Ganga-Contreras, F., Duran-Seguel, I., y Rodriguez-Ponce, E. (2018). Racionalidad, como punto focal de las decisiones estratégicas: Un acercamiento teórico conceptual. *Espacios*. 39(26), 5-17. Recuperado de <https://www.revistaespacios.com/a18v39n26/18392605.html>

Manrique Tisnés, H. (2019). *La toma de decisiones: entre la intuición y la deliberación*. Medellín: Editorial EAFIT.

Mariscal Briones, W. (2009). *Proceso de toma de decisiones gerenciales*. Argentina: El Cid Editor.

Nash, M., y Poling S. (2008). *Mapping the Total Value Stream*. Nueva York: Taylor & Francis Group.

Páez-Gabriunas, I., Sanabria, M., Gauthier-Umaña, V., Méndez-Romero, R. A. y Rivera Virgüez, L. (2022). Transformación digital en las organizaciones. Editorial Universidad del Rosario. <https://doi.org/10.12804/uosario9789587848366>

Perkin, N. y Abraham, P. (2017). *Building the agile business through digital transformation*. Nueva York: Kogan Page Publishers.

Tabone, L., Mortara, V., y Zanfrillo, A. (2021) Agregado de valor en proceso productivo combinando Soft Systems Methodology y simulación. *Ingeniería Industrial*, 42 (1),1-15. Recuperado de: <https://rii.cujae.edu.cu/index.php/revistaind/article/view/1043/1007>

Tabone, L., y Mortara, V. (2022). Modelo para la definición de los requisitos de un sistema de información en una organización de salud de Mar del Plata, Argentina. *Ingeniería Industrial*, 42(42), 159-181. Recuperado de: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2022.n42.5705>

Valqui Vidal, R. (2010). La investigación de operaciones: un campo multidisciplinario. *Operational Research: A mulidisciplinary Field*, 47-52.

Zanazzi J. L., Cabrera, G. P., Castellini, A., y Salamon, A. G. (2014). Análisis de un problema de selección de grupos de trabajo mediante investigación operativa soft. En J. L. Zanazzi, C. L. Alberto y C. E. Carignano (Comp.), *Aplicación de multi-metodologías para la gestión y evaluación de sistemas sociales y tecnológicos* (tomo II, pp. 203-223). Asociación Cooperadora de la Facultad de Ciencias Económicas de la UNC. Recuperado de: <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/1336?show=full>

Análisis de redes de centros de atención primaria de la salud empleando simulación numérica y algoritmos genéticos

Moreno, Graciela A.

gmorenoing@gmail.com

*Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales del Sur -IIESS (CONICET-Universidad Nacional del Sur)
(Bahía Blanca-Argentina).*

Moreno, M. Susana

smoreno@plapiqui.edu.ar

*Planta Piloto de Ingeniería Química -PLAPIQUI (CONICET-Universidad Nacional del Sur)
(Bahía Blanca-Argentina).*

Blanco, Aníbal M.

ablanco@plapiqui.edu.ar

*Planta Piloto de Ingeniería Química -PLAPIQUI (CONICET-Universidad Nacional del Sur)
(Bahía Blanca-Argentina).*

Fecha de recepción RIII: 17/04/2024

Fecha de aprobación RIII: 27/10/2024

RESUMEN

Las redes de Centros de Atención Primaria de la Salud (CAPS) son una parte importante del sistema de salud pública de nuestro país. Con el fin de maximizar el acceso de la población a los bienes y servicios de salud brindados en los CAPS, los municipios realizan un esfuerzo permanente para ir adaptando estas redes al crecimiento demográfico y territorial de las ciudades. Se trata de un problema complejo que implica distribuir de forma adecuada en el territorio el número de centros, con la capacidad apropiada de cada tipo de servicio ofrecido. El objetivo principal de este trabajo es estudiar la necesidad, la demanda y la oferta de servicios de atención primaria de la salud con el auxilio de un modelo matemático. Para el caso de estudio específico de una ciudad mediana desagregada territorialmente en radios censales, en una primera instancia se investiga, mediante simulación, la situación actual del sistema empleando un modelo sencillo de predisposición al traslado. A continuación, se analiza el efecto de modificar la capacidad de los servicios en los CAPS existentes. Finalmente, se investiga el efecto de incorporar nuevos centros a la red con el objeto de maximizar la demanda estimada empleando un algoritmo genético. La metodología propuesta permite estudiar sistemáticamente el sistema con la información disponible y analizar el impacto de modificaciones en la oferta de servicios sobre los principales indicadores de acceso.

Palabras Claves: Necesidad-Oferta-Demanda; Algoritmo Genético; CAPS.

Network analysis of primary health care centers using numerical simulation and genetic algorithms

ABSTRACT

The networks of Primary Health Care Centers (PHCC) are an important part of the public health system of our country. In order to maximize the population's access to health goods and services provided in the PHCC, the municipalities make a permanent effort to adapt these networks to the demographic and territorial growth of the cities. This complex problem involves distributing appropriately the number of centers in the territory, with the proper capacity for each type of service offered. The main objective of this work is to study the need, demand, and supply of primary health care services using a mathematical model. For the specific case study of a medium-sized city territorially disaggregated into census cells, firstly, the current system situation is investigated through simulation using a simple model of willingness to move. Next, the effect of modifying the capacity of services in existing PHCC is analyzed. Finally, the impact of incorporating new centers into the network is investigated in order to maximize the estimated demand using a genetic algorithm. The proposed methodology makes it possible to systematically study the system with the available information and analyze the impact of changes in services' offering on the main access indicators.

Keywords: Need-Supply-Demand; Genetic Algorithm; PHCC.

Análise de redes de centros de atenção primária à saúde utilizando simulação numérica e algoritmos genéticos

RESUMO

As redes de Centros de Atenção Primária a Saúde (CAPS) constituem parte do sistema público de saúde do nosso país. Para maximizar o acesso da população aos bens e serviços de saúde disponibilizados nos CAPS, os municípios fazem um esforço permanente para adequar essas redes ao crescimento demográfico e territorial das cidades. Este é um problema complexo que envolve distribuir adequadamente o número de centros no território, com capacidade adequada para cada tipo de serviço oferecido. O objetivo principal desde trabalho é estudar a necessidade, a demanda e a oferta de serviços de atenção primária à saúde com o auxílio de um modelo matemático. Para o estudo de caso específico de uma cidade de médio porte desagregada territorialmente em raios censitários, em primeiro lugar, a situação à sistema é investigada por meio de simulação utilizando um modelo simples de predisposição à transferência. A seguir, analisa-se o efeito da modificação de novos centros à rede para maximizar a demanda estimada por meio de um algoritmo genético. A metodologia proposta permite estudar sistematicamente o sistema com a informação disponível e analisar o impacto das alterações na oferta de serviços nos principais indicadores de acesso.

Palavras chave: Necessidade-Oferta-Demanda; Algoritmo genético; CAPS.

1. INTRODUCCIÓN

La salud pública en Argentina está organizada en tres niveles de atención. El Primer Nivel de Atención (PNA) está conformado por centros que se ocupan de la prevención de enfermedades y la atención de patologías menores. El segundo nivel corresponde básicamente a los hospitales generales que atienden pacientes derivados del primer nivel. El tercer nivel se centra en hospitales y centros especializados en donde se tratan patologías más complejas que requieren diagnósticos y tratamientos especializados.

La infraestructura del PNA consiste en Centros de Atención Primaria de la Salud (CAPS), antiguamente conocidos como salas médicas o dispensarios, los cuales poseen una amplia distribución territorial en las ciudades.

Este trabajo propone estudiar la relación entre la necesidad de consultas por parte de la población y la oferta de consultas en el PNA. A la vez, se persigue estimar la demanda de consultas con el auxilio de un modelo matemático.

El PNA ha sido estudiado extensamente mediante el empleo de modelos matemáticos de cobertura máxima y localización óptima. Una revisión exhaustiva de trabajos hasta el año 2017 se puede encontrar en [2]. Algunos trabajos más recientes incluyen, por ejemplo, el estudio de Pu y col. [10], donde se evalúa el acceso espacial a centros de salud en la República Democrática del Congo, y el de Mendoza-Gómez y col. [8], donde se presenta una variación del problema de localización de cobertura máxima en los centros de atención primaria de la salud en México. Los modelos utilizados son típicamente variantes del problema de localización de máxima cobertura [3].

La metodología propuesta en este trabajo persigue ubicar un dado número de CAPS en el territorio, determinando el nivel óptimo de cada servicio ofrecido de manera de maximizar la demanda de consultas a lo largo de un año. Para formular y resolver el problema se diseñó un Algoritmo Genético (AG), que es una técnica de optimización que busca soluciones al azar guiada por el principio de la evolución natural. Las soluciones se codifican en cromosomas y se utilizan operadores de selección, cruce y mutación, a lo largo de un número de generaciones para identificar “el mejor” cromosoma.

Adicionalmente, este tipo de estudios que involucran la localización de nodos en el territorio, se complementan habitualmente con Sistemas de Información Geográfica (SIG), especialmente diseñados para analizar datos en función de su posición geográfica. En este trabajo se los empleará para representar la necesidad de servicios sanitarios de la población de cada radio censal, así como la oferta de servicios que se brindan en cada CAPS y la demanda estimada hacia estos.

Como caso de estudio se investigó el PNA del municipio de Bahía Blanca, sistema que se viene estudiando desde hace un tiempo en nuestro grupo de investigación ([1], [5], [6]).

2. METODOLOGIA

Estimación de la necesidad, oferta y demanda

Para realizar el análisis de la población del partido de Bahía Blanca, se utilizó como referencia la información proporcionada por el Centro Nacional de Población, Hogares y Viviendas [4] el cual divide el partido en 369 radios censales urbanos y 9 radios censales rurales. Se incluyeron estimaciones adicionales para actualizar la información a fechas más recientes [1].

La estimación de la necesidad de consultas médicas de cada especialidad para la población objetivo en base anual, se realizó con la metodología de cálculo presentada en [5]. Una vez definida la distribución

poblacional en cada radio censal, diferenciando por grupo etario y sexo, se tienen diferentes necesidades de bienes y servicios de salud.

En este trabajo se asume que un 40% de la población (uniformemente distribuida) hace uso del PNA. Este valor es difícil de estimar y posee una gran incertidumbre. El mismo se correlaciona en alguna medida con el nivel de cobertura de la obra social/prepaga de la población y seguramente posee una variabilidad territorial no considerada a los fines de este estudio.

Con respecto a la estimación de la oferta, la ciudad cuenta con 56 CAPS, entre centros de salud y unidades sanitarias, los cuales se diferencian en la cantidad de servicios que ofrecen, los horarios y capacidad de atención, siendo mayores en los centros de salud que en las unidades sanitarias. Para cuantificar la oferta se utilizaron datos de la cantidad de profesionales por servicio en cada CAPS y las horas trabajadas por cada profesional de acuerdo a la metodología propuesta en [5] y la información proporcionada por la secretaría de salud de la ciudad. Los servicios considerados en este estudio son: enfermería, medicina familiar/clínica, pediatría, ginecología, obstetricia, psicología y odontología.

La oferta estimada es proporcional a la cantidad de profesionales asignados a cada centro, la cantidad de horas semanales y los días laborables a lo largo del año en el que desempeñan sus funciones.

La demanda es difícil de estimar dado que depende de numerosos factores. En este trabajo se considera únicamente la componente geográfica, que sugiere que la proximidad de una dada población a un CAPS hace que este sea más demandado que otro se encuentre más alejado, aunque se sabe que se trata de un fenómeno complejo que involucra muchos más elementos.

Para representar la tendencia de una cierta población a buscar servicios en los CAPS ubicados a determinadas distancias de su ubicación, en este trabajo se propone el siguiente modelo sencillo de predisposición al traslado:

$$\text{Si } ds_{n,o} \leq dr_{n,o}^{\min} \rightarrow \delta_{n,o} = 1 \quad (1)$$

$$\text{Si } ds_{n,o} \geq dr_{n,o}^{\max} \rightarrow \delta_{n,o} = 0 \quad (2)$$

$$\text{Si } dr_{n,o}^{\min} < ds_{n,o} < dr_{n,o}^{\max} \rightarrow \delta_{n,o} = f(ds_{n,o}) \quad (3)$$

donde $ds_{n,o}$ es la distancia entre el centro de necesidad n (radio censal) y el CAPS (centro de oferta, o) y $f(ds_{n,o})$ es una función que decrece linealmente entre 1 y 0 con $ds_{n,o}$. Los parámetros $dr_{n,o}^{\min}$ y $dr_{n,o}^{\max}$ son distancias límite. Si la distancia es menor a $dr_{n,o}^{\min}$, hay una predisposición total a visitar el CAPS y si es mayor a $dr_{n,o}^{\max}$ esa predisposición se anula. Entre estos valores la predisposición va decreciendo linealmente. El parámetro $\delta_{n,o}$ actúa entonces modulando la demanda entre los nodos de necesidad (radios censales) y de oferta (CAPS). Esta representación sencilla se adopta para establecer la cantidad de consultas que se demandan, idealmente, en cada CAPS del sistema. Los valores empleados para $dr_{n,o}^{\min}$ y $dr_{n,o}^{\max}$ en este trabajo son 500 y 1500 m, respectivamente.

En la Figura 1 se representan gráficamente las tres dimensiones descriptas para el servicio de enfermería. La necesidad se representa en escala de rojos a nivel de radio censal. La oferta en el CAPS se presenta como un disco verde cuyo diámetro es proporcional a la cantidad de consultas ofrecidas. La demanda estimada se representa con un disco de color amarillo que muestra la cantidad de consultas del servicio en cada CAPS.

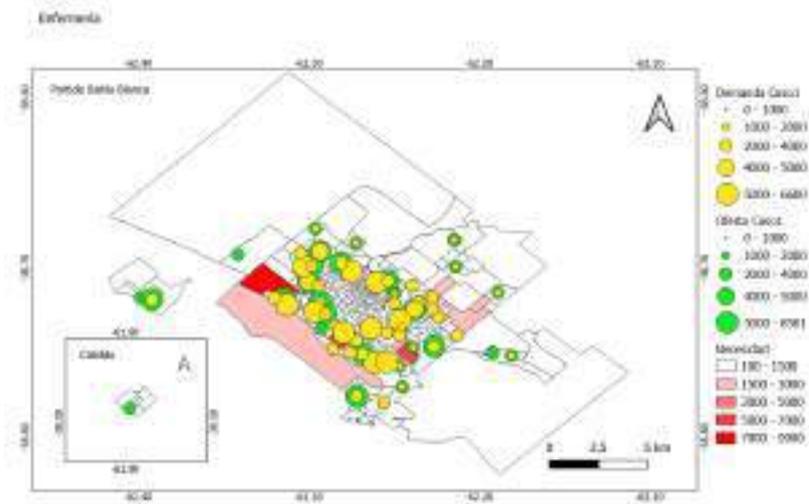


Figura 1 Necesidad, oferta y demanda del servicio de enfermería para el Caso 1.

Simulación de la demanda

Dada la necesidad de cada servicio en cada radio censal y la capacidad de ese servicio en cada CAPS del sistema, es posible calcular la demanda de acuerdo al modelo de predisposición al traslado propuesto. En la Figura 2, cada recuadro representa un radio censal (rc) con una dada población y cierta necesidad asociada. En algunos rc existen CAPS que ofrecen distintos servicios (nodos de oferta, o). El sombreado gris oscuro representa los rc que se encuentran a menos de 500 m del nodo o y el gris claro los que están a menos de 1500 m.

El proceso de asignación de la demanda se describe a continuación estilo pseudocódigo.

1. Para cada CAPS (i) se identifican los rc cercanos (<1500 m) y se los ordena de mayor a menor de acuerdo al modulador de distancia y se los almacena en una matriz (RC_i).
2. Se recorre cada CAPS ($i = 1$ a 56)
 - a. Para cada CAPS i , se realiza un segundo ciclo que recorre los servicios ($j = 1$ a 7).
 - i. Para cada servicio j se recorren los rc identificados ($k = 1$ a RC_i) partiendo de $D_{ij}=0$
 1. La demanda de cada servicio en cada CAPS se calcula como la suma de la necesidad de los RC_k hasta que se alcanza la capacidad máxima: $D_{ij} = N_j(RC_k) + D_{ij}$

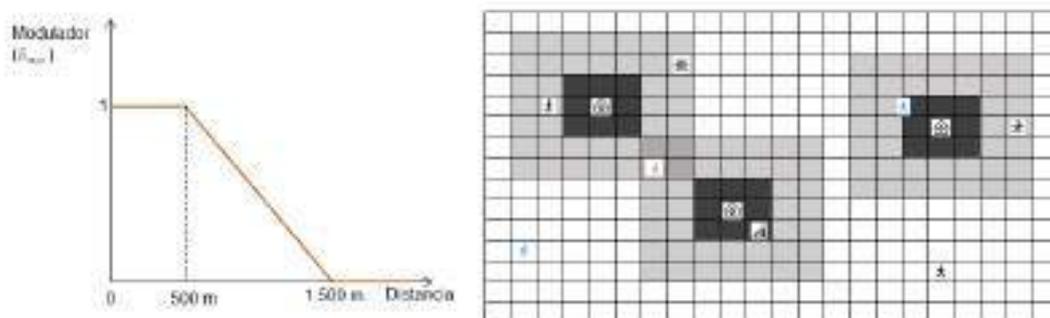


Figura 2 Predisposición de traslado en función de la distancia.

Optimización de la oferta

En esta sección proponemos un algoritmo genético para maximizar la demanda de consultas mediante la reasignación de capacidades en los CAPS existentes y la apertura de nuevos CAPS.

Población inicial

La población inicial se crea generando una matriz binaria de los cromosomas o individuos. Cada cromosoma se codifica como una matriz donde las filas representan la cantidad de radios censales del sistema (1 a 378) y las columnas corresponden a los servicios que se ofrecen en cada CAPS (Figura 3). En aquellas filas que corresponden a los radios censales donde existe o se abrirá un CAPS (indicados con subrayado), los servicios que se prestan se generan al azar y se indican con valor 1 si existen y 0 si no.

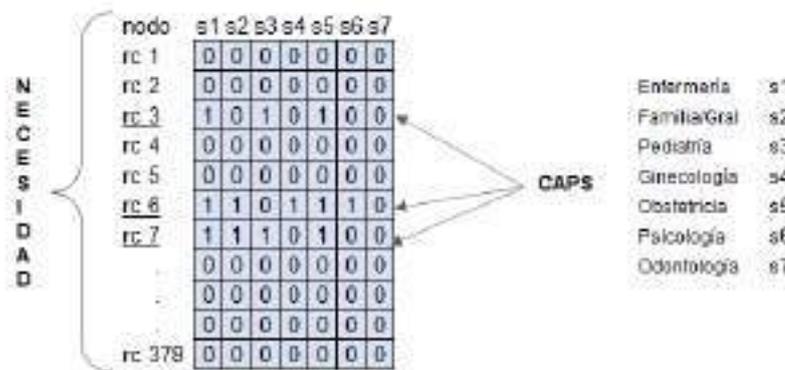


Figura 3 Estructura general del cromosoma propuesto del AG.

Cabe señalar que, para que un CAPS exista/se abra, debe contar al menos con el servicio de enfermería (s1), el cual es obligatorio.

El tamaño de la población es un parámetro que indica la cantidad de individuos que se someterán a los operadores de selección, cruce y mutación.

Fitness o función de aptitud

El objetivo de la optimización es maximizar la demanda de consultas en todo el sistema. Para cada cromosoma o individuo se calcula la demanda estimada de servicios de todos los nodos de necesidad en función del modulador de distancia para todos los nodos oferta del sistema siguiendo la metodología descrita en la sección simulación de demanda.

Selección

La estrategia de selección empleada en este trabajo es por torneo. Este método consiste en seleccionar al azar dos individuos de la población y generar un torneo o competencia entre ellos, donde el individuo con mejor fitness o aptitud será el ganador y se elegirá como padre/madre. La cantidad de individuos de la población a seleccionar es un parámetro del algoritmo. El valor más utilizado es el de dos individuos, pero se puede aumentar este valor según el problema. La aptitud se mide utilizando la función de fitness. Una vez que se obtiene el conjunto de padres se procede a utilizar los operadores de cruce y mutación.

Cruce

Para combinar dos padres y generar dos nuevos hijos se utiliza el operador de cruce en un punto. Como se observa en la Figura 4, se establece al azar un punto de corte entre las columnas 2 y 6 para realizar el cruzamiento o intercambio genético donde se combina la primera parte de un padre con la segunda parte del otro.

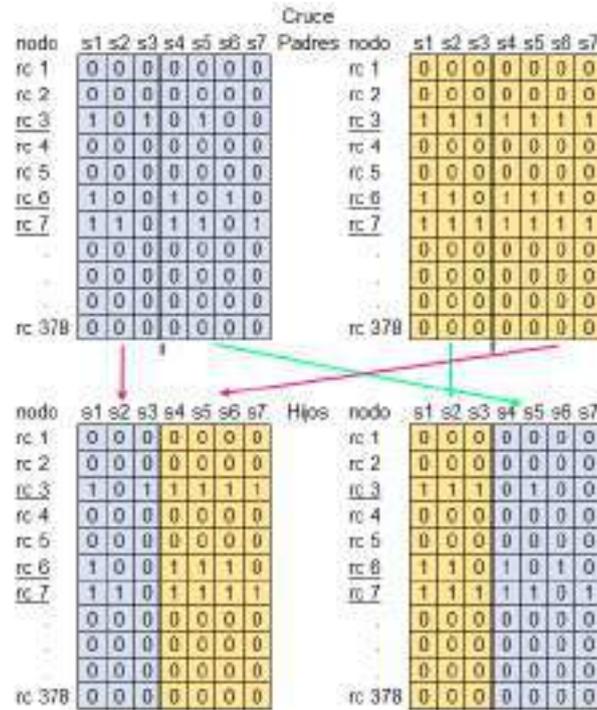


Figura 4 Representación del proceso de cruzamiento del cromosoma.

Sin embargo, para el caso en el que se abra un nuevo CAPS, después de realizar este cruzamiento los hijos podrían no representar una solución factible, incluso si ambos cromosomas poseen la misma cantidad de CAPS abiertos ($s1 = 1$). Por ejemplo, como se observa en la Figura 5 el primer hijo tiene servicios habilitados en el radio censal 4 pero no tiene el servicio obligatorio de enfermería ($s1$) lo mismo sucede en el rc2 del segundo hijo. Para salvar esta situación, se intercambian los servicios habilitados en estos radios censales con los del radio censal donde el servicio de enfermería toma valor 1.

Con este procedimiento se corrigen los servicios habilitados a partir del punto de cruce para los rc del cromosoma que poseen CAPS abiertos, generando de esta forma hijos factibles.

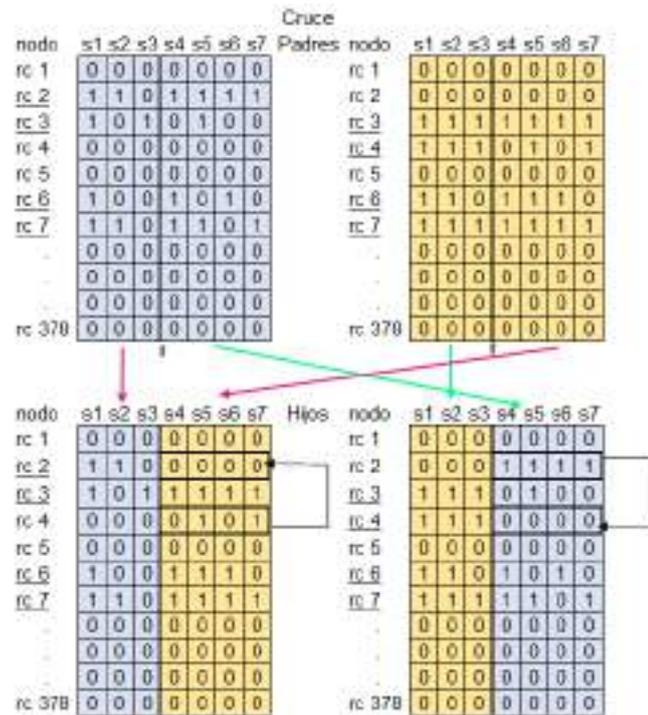


Figura 5 Corrección de cromosoma con diferentes CAPS abiertos en el cruzamiento.

Mutación

El operador de mutación incorpora diversidad en la población para evitar la convergencia prematura del algoritmo. Esto se realiza generando soluciones diferentes de la original por medio de cambios al azar en una determinada posición o gen (columna/servicio y fila/CAPS), a través de una cierta probabilidad de mutación.

Para llevar a cabo esta mutación, se genera un número al azar y se compara con la probabilidad de mutación establecida (0,3 en este trabajo). Si el valor generado está por debajo de la probabilidad establecida, se procede a cambiar valor en la posición seleccionada (esto es, para el servicio del CAPS correspondiente) de 0 a 1 o de 1 a 0. En caso contrario, no se realiza ningún cambio. En la Figura 6 se muestra, a modo de ejemplo, la mutación de los hijos obtenidos en la Figura 5, indicando con color azul el gen que cambia.

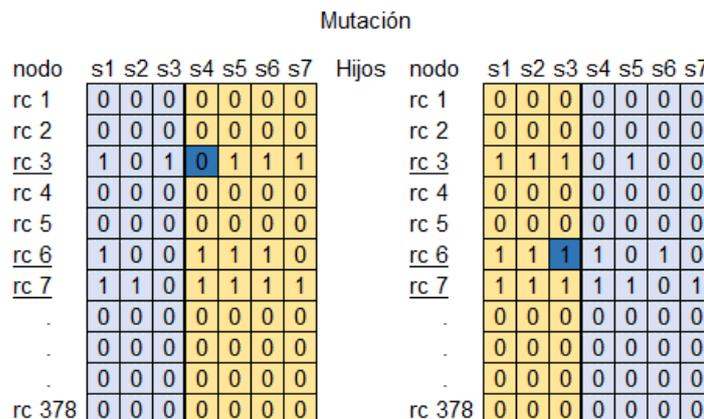


Figura 6 Representación del proceso de mutación de un gen al azar del cromosoma.

Creación de la nueva población

Para la generación de una nueva población se utiliza el reemplazo generacional donde los padres son reemplazados en la nueva generación por los hijos. Este procedimiento es iterativo hasta que se cumple el criterio de parada.

Criterio de parada

Los criterios de parada adoptados son: (i) por tiempo: como máximo 3600 s, (ii) por promedio de demanda estimada: si no hubo cambios en la demanda en las últimas 10 generaciones consecutivas y (iii) por cantidad fija de generaciones (por ejemplo, máximo 1 000 generaciones). Cuando se cumple alguno de los tres criterios mencionados se detiene el proceso y se obtiene la solución del AG como el cromosoma de la población con mejor función de fitness.

Metodología de solución

Los parámetros del modelo, particularmente, los datos de distancia entre los radios censales, la población por grupo, los radios censales, la localización y capacidad de los servicios de los CAPS existentes se organizaron en planillas de cálculo para poder alimentar de forma práctica e interactiva el AG propuesto.

Los resultados obtenidos de demanda calculada y nuevas ubicaciones y capacidades de los CAPS se escriben en planillas de cálculo para su posterior procesamiento y graficación. El AG se implementó en software Python versión 3.10 utilizando las librerías de Numpy, Pandas y Matplotlib para la representación gráfica de los resultados. Los experimentos se realizaron en una computadora con procesador Intel Core i7-4790HQ, CPU 3.6 GHz, 16GB RAM y sistema operativo Windows 10pro 64-bit.

Para realizar un estudio de la calidad de las soluciones del AG propuesto, las soluciones obtenidas se comparan con las correspondientes a un modelo de optimización determinístico presentado en [9] con el cual se obtienen los resultados exactos del modelo para cada caso de estudio.

3. RESULTADOS

Para ilustrar el desempeño de la metodología propuesta, en esta sección proponemos analizar la situación actual y posibles rediseños de la red, a través de los siguientes casos de estudio:

1. Simulación de la situación actual:
 - a. La capacidad de los servicios de oferta esta fija en los CAPS existentes
 - b. Maximizar la demanda
2. Rediseño 1:
 - a. Se fija la ubicación de los CAPS existentes
 - b. Se liberan los servicios y capacidades en los CAPS
 - c. Maximizar la demanda
3. Rediseño 2:
 - a. Se fija la localización de los CAPS existentes
 - b. Se liberan los servicios y capacidades en los CAPS
 - c. Se habilita la posibilidad de incorporar un nuevo CAPS con los servicios que se necesiten en cualquier radio censal de la ciudad.
 - d. Maximizar la demanda

El Caso 1 persigue simular la situación actual de la red de CAPS con una oferta de servicios definida, estimando su demanda. Este caso sirve de base para realizar comparaciones con los otros dos casos. La estimación de la demanda se realiza considerando que, primero, deben asignarse los nodos de necesidad que posean un modulador igual a 1 y luego los siguientes en orden decreciente sin considerar el valor cero. La asignación de la necesidad modulada a un servicio del CAPS se realiza siempre y cuando no se supere la capacidad del servicio en el CAPS.

El Caso 2 está orientado a reestructurar las capacidades de los servicios ofrecidos en los CAPS manteniéndolos en la misma ubicación y sin incorporar nuevos centros en el sistema. Este experimento mide el impacto de reestructurar los centros. La diferencia en la simulación de este caso radica en la posibilidad de ofrecer todos los servicios en los CAPS existentes. El procedimiento de la estimación de la demanda es igual que en el Caso 1, ofreciendo una capacidad adecuada localmente a la necesidad.

La diferencia principal es que la demanda estimada aumenta porque se ofrecen todos los servicios en todos los CAPS.

Finalmente, el Caso 3, permite evaluar el sistema al incorporar un nuevo CAPS utilizando el algoritmo genético descrito en la sección anterior.

Los resultados de estos experimentos se reportan en la Tabla 1. Se presenta un resumen de los casos de estudio mencionados, detallando la información por servicio. La primera columna de la Tabla 1 muestra los servicios proporcionados por los CAPS y la segunda corresponde a la necesidad de consultas totales por servicio por parte de la población. Para cada uno de los casos de estudio, se presenta la demanda global estimada de consultas de cada servicio y la correspondiente oferta global de consultas por servicio.

Tabla 1 Resultados de los casos propuestos.

Servicio	Necesidad	Caso 1		Caso 2		Caso 3	
		Demanda	Oferta	Demanda	Oferta	Demanda	Oferta
Enfermería	200 072	152 768	186 613	161 708	221 629	172 078	247 740
Familia/General	11 420	8 796	20 848	9 391	22 776	9 892	22 394
Pediatría	67 029	42 392	50 352	55 036	74 422	57 599	76 852
Ginecología	15 063	10 499	17 820	12 434	25 514	13 093	26 323
Obstetricia	9 214	5 513	10 125	7 421	23 490	7 817	21 465
Psicología	14 303	10 412	18 630	11 746	24 300	12 222	22 678
Odontología	89 346	32 915	34 500	72 093	85 860	74 739	89 424
Total	406 447	263 295	338 888	329 829	477 691	347 440	506 876
Referencia		283 170	475 594	350 319	535 348	366 040	537 823
Nivel de utilización (%)		78		69		68	
DEM/NEC (%)		64,77		81,14		85,48	
OF/NEC (%)			83,37		117,5		124,7
RPD (%)		7	29	6	11	5	6

La demanda estimada según el modelo de predisposición al traslado utilizado, es menor a la necesidad teórica de la población (fila DEM/NEC). En los Casos 1, 2 y 3 la proporción de la necesidad que se manifiesta en demanda es de 64,77%, 81,14% y 85,48%, respectivamente.

Con respecto a la oferta global de servicios en relación a la necesidad teórica, en el Caso 1 es inferior manifestándose en un 83,37% pero se incrementa en los Casos 2 y 3, en un 17,5% y 24,7%, respectivamente, ampliando el potencial de cobertura del sistema (fila OF/NEC).

El indicador “nivel de utilización” se define como la demanda dividida la oferta (DEM/OF) y se utiliza para monitorear el uso efectivo de la capacidad instalada en el sistema. En el Caso 1 es del 78%, en el Caso 2 del 69% y en el Caso 3 del 68%.

Finalmente, para validar los resultados del método propuesto, se establece el indicador de rendimiento de desviación porcentual relativa (RPD) [7] como se muestra en la Ecuación (4), donde se emplea como referencia las soluciones obtenidas con un algoritmo determinístico reportadas en [9].

$$RPD = \frac{\text{solución de referencia GAMS} - \text{solución del algoritmo}}{\text{solución de referencia GAMS}} \cdot 100 \quad (4)$$

Las soluciones de los Casos 1, 2 y 3 se presentan gráficamente en las Figuras 1, 7 y 8, respectivamente, para el servicio de enfermería.

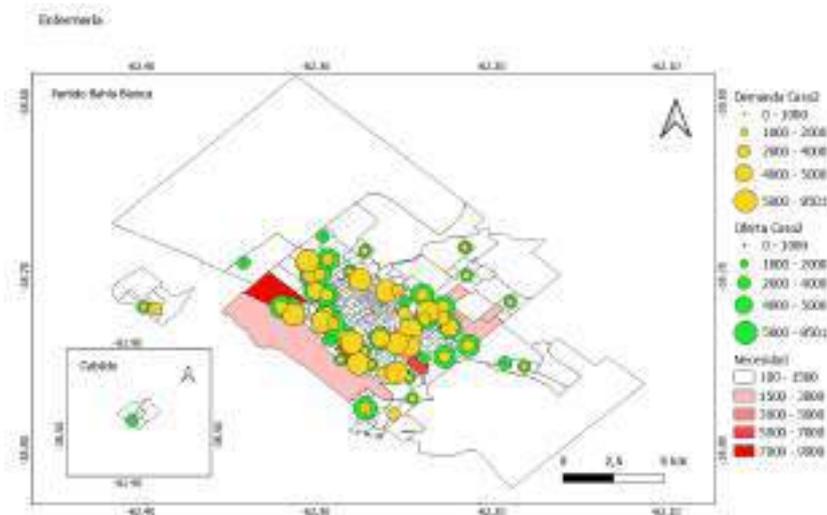


Figura 7 Necesidad, oferta y demanda del servicio de enfermería para el Caso 2.

En particular, para el Caso 3 (Figura 8), el nuevo CAPS se localiza en el radio censal indicado con un triángulo negro contando con la totalidad de servicios siendo la mayoría de baja capacidad. Este se ubica en un área densamente poblada que no cuenta con CAPS cercanos, pero donde existe una oferta importante de hospitales. En la práctica, probablemente no sea posible emplazar el CAPS en la ubicación propuesta por diferentes razones. El radio censal con un cuadrado negro señala la ubicación obtenida con el algoritmo determinístico en [9].

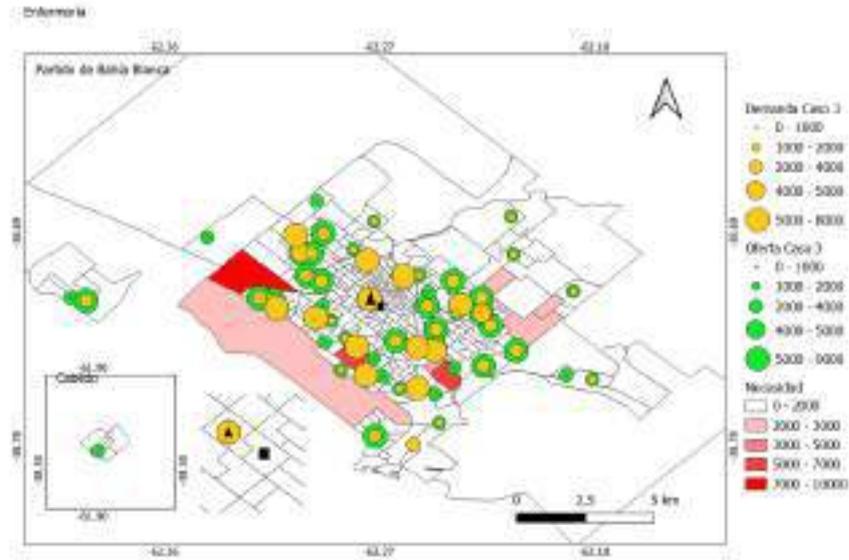


Figura 8 Necesidad, oferta y demanda del servicio de enfermería para el Caso 3.

Cabe aclarar que, para determinar la mejor solución del algoritmo en el Caso 3 se evaluaron las soluciones obtenidas de diferentes experimentos donde se trabajó poblaciones de 20, 60 y 100 individuos. Para obtener cierta representatividad estadística, se analizaron 10 ejecuciones independientes del AG en cada caso. Para ello se emplearon los criterios de parada del algoritmo que, como se mencionó previamente, consisten en un máximo de 1000 iteraciones, un máximo de una hora y otro que monitorea el promedio de función de aptitud en las últimas 10 generaciones seguidas. La Tabla 2 contiene los resultados de estos experimentos, y a partir de ellos se puede concluir que la solución con 100 pobladores conduce a soluciones que no se espera que mejoren significativamente con nuevos incrementos.

Tabla 2 Resumen promedio global de resultados del Caso 3 empleando el AG.

Tamaño Población	Iteración	Demanda estimada	Oferta estimada	Tiempo promedio (s)	RPD (%)	Cobertura (%)	Nivel de utilización (%)
20	382	338 847	495 133	866	7	92,57	68
60	400	344 096	509 596	2846	6	94,01	68
100	318	345 216	508 103	3605	6	94,36	68

4. CONCLUSIONES

La metodología propuesta permite estimar la demanda en relación a la necesidad de servicios del PNA como función de la distancia de traslado de la población hacia los CAPS. Se consideró una función sencilla de predisposición de traslado, que contempla una distancia máxima de 1500 m con una función linealmente decreciente a partir de los 500 m.

En el caso de simulación 1 se observa que la oferta potencial de consultas supera la demanda estimada para todos los servicios. Sin embargo, solo el 64,77% del total de la necesidad se manifiesta en demanda de acuerdo al modelo de predisposición de traslado empleado. Asimismo, solo el 83,37% de la necesidad posee una oferta asociada en el PNA para los datos de necesidad y oferta utilizados.

La posibilidad de modificar la capacidad de los servicios en los diferentes centros de la red (Caso 2) permite incrementar estos valores a 81,14 y 117,5% respectivamente.

Adicionalmente la posibilidad de incorporar un nuevo centro a la red (Caso 3) mejora aún más estas cifras (85,48 y 124,7%).

Globalmente se observa que la demanda del sistema se incrementa respecto del caso base como consecuencia del aumento de la oferta global de consultas.

Sin embargo, se observa un deterioro en el indicador “nivel de utilización”, el cual se reduce respecto del caso base. Esto es esperable dado que no se incorporó en los algoritmos ninguna restricción que fuerce a que dicha variable se mantenga en un nivel apropiado.

En cuanto al desempeño de la metodología propuesta en comparación con la versión determinística, se observa, para la variable demanda, un error (RPD) del 7% en el Caso 1 y de 6 y 5% en los Casos 2 y 3, respectivamente. Estas diferencias se atribuyen a que la demanda estimada realizada con el procedimiento de la sección 2.2 no es exacta, sino que se producen subestimaciones de la misma.

Sin embargo, los resultados se consideran razonables y pueden ser empleados como una guía en la toma de decisiones. Específicamente, el nuevo centro abierto en el Caso 3 se localiza en un radio censal muy próximo al propuesto por la solución de referencia.

Como trabajo futuro se planea mejorar la estimación de la necesidad y de la oferta. También se prevé realizar el cálculo de los costos operativos y de inversión en incrementos de capacidad de servicios e instalación de nuevos centros. También se espera mejorar el algoritmo de asignación de la sección 2.2 para estimar la demanda de consultas considerando la predisposición al traslado de la población. Finalmente, se evaluará el impacto de modificaciones del AG propuesto que permitan mejorar su desempeño, como por ejemplo los criterios de parada, la probabilidad de mutación o tipo de reemplazo de la población.

5. REFERENCIAS

- [1] Accattoli Colaneri, V., Moreno, M. S., Acroglano, P. L., & Blanco, A.M. (2020). Análisis del primer nivel de atención de la ciudad de Bahía Blanca usando SIG. XI Congreso Argentino de Informática y Salud (CAIS 2020) - JAIIO 49 (Modalidad virtual). <https://49jaiio.sadio.org.ar/pdfs/cais/CAIS%2009>
- [2] Ahmadi-Javid, A., Seyedi, P., & Syam, S.S. (2017). A survey of healthcare facility location. *Computers & Operations Research*, 223-263. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.05.018>
- [3] Church, R., & ReVelle, C. (1974). The maximal covering location problem. *Papers in Regional Science: The Journal of the Regional Science Association International*, 32(1), 101-118. <https://doi.org/10.1007/bf01942293>
- [4] CNPHyV. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas. Provincia de Buenos Aires, Partido Bahía Blanca. Buenos Aires: INDEC. [Internet] (2010). Disponible en: <https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-Tema-2-41-135>
- [5] Elorza, M. E., Moscoso, N. S., Blanco, A. M., & Gentili, J. O. (2018). Estimating need, demand and supply in primary health care services: A local application in Argentina. *MEDICC Review*, 20(3), 36-44. <https://doi.org/10.37757/mr2018.v20.n3.8>
- [6] Elorza, M. E., Moscoso, N. S., & Blanco, A. M. (2022). Assessing performance in health care: A mathematical programming approach for the re-design of primary health care networks. *Socio-Economic Planning Sciences*, 84, 101454. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2022.101454>
- [7] Gazani, M. H., Niaki, S. A. A., & Niaki, S. T. A. (2021). The capacitated maximal covering location problem with heterogeneous facilities and vehicles and different setup costs: An effective heuristic approach. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 12, 79-90. <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2020.9.002>
- [8] Mendoza-Gómez, R., & Ríos-Mercado, R. Z. (2022). Location of primary health care centers for demand coverage of complementary services. *Computers & Industrial Engineering*, 169, 108237. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108237>

- [9] Moreno, G. A., Moreno, M. S., & Blanco, A.M. (2023). Análisis y rediseño de una red de centros de atención primaria de la salud. Simposio Argentino de Informática Industrial e Investigación Operativa (SIIIO 2023) - JAIIO 52, CABA, Argentina. <https://52jaiio.sadio.org.ar/>
- [10] Pu, Q., Yoo, E.-H., Rothstein, D. H., Cairo, S., & Malemo, L. (2020). Improving the spatial accessibility of healthcare in North Kivu, Democratic Republic of Congo. *Applied Geography*, 121, 102262. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102262>

La aplicación de la exergía al análisis de ciclo de vida. Un enfoque integrador para la medición de la sustentabilidad

Herrería, Elisabeth Ruth

eherreria@unlam.edu.ar

Universidad Nacional de La Matanza (Argentina).

Carucci, Juan

jcarucci@unlam.edu.ar

Universidad Nacional de La Matanza (Argentina).

Vidal, Mauro Hernán Ricardo

mvidal@unlam.edu.ar

Universidad Nacional de La Matanza (Argentina).

Jurado, Vanina Gabriela

vjurado@alumno.unlam.edu.ar

Universidad Nacional de La Matanza (Argentina).

Fecha de recepción RIII: 10/05/2024

Fecha de aprobación RIII: 27/10/2024

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo demostrar por qué la aplicación de la exergía a la metodología del análisis del ciclo de vida permite evaluar más integralmente la utilización de los recursos energéticos y no-energéticos consumidos en diversos procesos de reconversión energética. Por otra parte, la exergía puede ser considerada como un valor físico de un recurso, pudiendo cuantificarse y así presupuestar el alcance de los requerimientos para conocer qué tan eficiente exergéticamente resulta ser el consumo de energía y materia en determinados procesos. Así pues, se expone en primer lugar cómo se relaciona la exergía con la medición de la sustentabilidad. A continuación, se presenta cuáles resultan ser las limitaciones metodológicas en el análisis de ciclo de vida, y, por ende, sus implicaciones para la medición de la sustentabilidad en términos de impacto ambiental. Posteriormente, se compara el alcance del enfoque exergético aplicado al análisis de ciclo de vida para un caso hipotético de biodigestión de un flujo residual del faenamiento de ganado bovino, a fin de evaluar qué permite mejorar para la medición de sustentabilidad. Por último, se reflexiona sobre cómo la integración de la exergía a la metodología del análisis de ciclo de vida proporciona un enfoque integrador para avanzar en la evaluación de los impactos ambientales en términos de recuperación de eficiencia exergética y como medida de sustentabilidad, respondiendo así a un orden de cosas sujetas a transformaciones entrópicas.

Palabras Claves: exergía; análisis ciclo de vida; evaluación impactos ambientales; sustentabilidad.

Exergy applied to life cycle analysis. An integrative approach to measuring sustainability

ABSTRACT

This work aims to demonstrate why the application of exergy to life cycle assessment methodology gives a more comprehensive understanding of both energy and non-energy resources consumed in various energy conversion processes.

Moreover, exergy can be considered a physical value of a resource. In this respect, it might be quantified to account for requirements needed. In doing so, it is possible to determine how exergetically efficient might result to be the consumption of energy and materials in specific processes.

Firstly, it is explained how exergy relates to sustainability assessment.

Secondly, a discussion about methodological limitations in life cycle assessment and its implications for sustainability measurement in terms of environmental impacts are thoroughly examined.

Thirdly, a comparison between the exergetic approach and the conventional approach to life cycle assessment of a hypothetical case study of biogas from bovine slaughterhouse waste is presented to evaluate to which extent the exergetic approach provides a better measure of sustainability.

To sum up, some final considerations are put forward to provide insights into the application of exergy to life cycle assessment methodology. Therefore, the integration of exergy into this methodology might enhance the scope of sustainability measurement, delivering a better tool for assessing environmental impacts in terms of exergetic efficiency recovery, and as a response to an order of things subject to entropic transformations.

Keywords: exergy; life cycle analysis; environmental impact assessment; sustainability.

A aplicação da exergia à análise do ciclo de vida. Uma Abordagem Integrativa para a Mensuração da Sustentabilidade

RESUMO

O objetivo deste artigo é demonstrar porque a aplicação da exergia à metodologia de análise do ciclo de vida permite uma avaliação mais abrangente do uso de recursos energéticos e não energéticos consumidos em diversos processos de reconversão energética. Por outro lado, a exergia pode ser considerada como um valor físico de um recurso, sendo capaz de quantificar e assim orçar o alcance dos requisitos para saber quão eficiente, exergeticamente falando, é o consumo de energia e matéria em determinados processos. Desta forma, explica-se primeiramente, como a exergia está relacionada à mensuração da sustentabilidade. A seguir, são apresentadas as limitações metodológicas na análise do ciclo de vida e, portanto, suas implicações para a mensuração da sustentabilidade em termos de impacto ambiental. Posteriormente, estabelece-se uma comparação entre o alcance da abordagem exergetica aplicada e a análise do ciclo de vida para um caso hipotético de biodigestão de um fluxo residual do abate de bovinos, a fim de avaliar o que pode ser melhorado para a mensuração da sustentabilidade. Por último, faz-se uma reflexão sobre como a integração da exergia à metodologia de análise do ciclo de vida fornece um enfoque integrador para avançar na avaliação dos impactos ambientais em termos de recuperação da eficiência exergetica e como medida de sustentabilidade, respondendo assim a uma ordem de coisas sujeitas a transformações entrópicas.

Palavras chave: exergia; análise do ciclo de vida; avaliação de impacto ambiental; sustentabilidade.

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo se basa en un proyecto de investigación en curso, cuyo objetivo es evaluar a partir de un caso de estudio hipotético de biodigestión del flujo residual de la línea roja del faenamiento de ganado bovino, cómo la aplicación del análisis de ciclo de vida exergético (ACVx) permite identificar mejor los potenciales impactos ambientales del proceso de reconversión energética de residuos orgánicos industriales generados localmente en comparación con el análisis de ciclo de vida (ACV) en términos de eficiencia exergética. Así pues, el núcleo del problema a investigar surge de extender la tradicional metodología del ACV, estandarizada en las normas ISO 14040:2006 y 14044:2006, al análisis exergético y su relación con la búsqueda de un manejo sustentable de procesos de reconversión energética para afrontar la denominada transición ecológica, paradigma emergente.

La metodología del ACV basada en los estándares de las normas ISO 14040:2006 y 14044:2006 se erige en una herramienta que permite evaluar los potenciales impactos ambientales asociados a procesos productivos y tecnológicos, productos y servicios con el propósito de cuantificar la sustentabilidad de los mismos y brindar un marco de referencia empírico para diferentes fines tales como eco-diseño, eco-etiquetado, descarbonización, reducción de agentes tóxicos, etc., asociados a la agenda de la eco-innovación y los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS). No obstante, la metodología del ACV no se encuentra exenta de ciertos problemas dado que, si bien supone analizar un orden de cosas sujetas a cambio cualitativo, su puesta en práctica debe sortear precisamente una serie de cuestiones inherentes a cuantificar lo que esencialmente ocurre como transformaciones entrópicas.

Así pues, la incorporación del enfoque exergético a la metodología del ACV presentaría ventajas relativas a los inconvenientes que se presentan en el proceso de caracterización y valorización de los factores de los recursos energéticos y no-energéticos, recursos que difícilmente pueden ser medidos por una misma unidad de medida en la metodología convencional del ACV.

2. EXERGÍA Y SU RELACIÓN CON LA SUSTENTABILIDAD

En esta sección, se aborda la aplicación de la exergía como unidad de medida del ACV, especialmente, orientado a los flujos residuales de los procesos productivos. Su interrelación con el concepto de sustentabilidad ambiental surge a partir de la necesidad de evaluar los impactos ambientales producidos por los residuos generados durante los procesos productivos concernientes. Orientando el enfoque de esta interrelación en función del desarrollo sustentable, que considera el triple resultado de desarrollo económico, social y con la protección del medio ambiente, bajo este paradigma de análisis, se consideran los recursos invertidos en el tratamiento y/o la recuperación de los residuos utilizando a la exergía como una medida de su eficiencia e indicador de la degradación de la calidad de los recursos. Además, se vincularán estos conceptos con la aplicación a un caso de estudio hipotético de biodigestión de un flujo residual proveniente del faenamiento de ganado bovino.

Por un lado, la necesidad de cuantificar la cantidad de energía requerida en los flujos residuales de un proceso industrial plantea tomar un indicador que sea comparable y medible para las corrientes y sustratos principales que caractericen la transformación de su energía y calidad. Para ello, resulta relevante valerse de los principios de la termodinámica para sustentar la cuantificación y medición de la calidad de la energía asociada al tratamiento de los flujos residuales, particularmente, en el caso hipotético de estudio. El concepto de exergía se basa en la primera ley de la termodinámica explicándose en el principio de conservación de la energía que establece que nada desaparece porque la energía no se crea ni se destruye, y en la segunda ley, relacionada con la calidad de la energía, que trata específicamente de la degradación de la energía durante un proceso.

La aplicación de la exergía como unidad de medida única y comparable para los distintos flujos de residuos es de gran importancia. Según proponen Jaimes, Rocha, Vesga y Kafarov (2012) la utilización del balance de exergía en un proceso productivo “es considerada una herramienta de estudio y diagnóstico de sistemas, útil en el diseño de soluciones alternativas que busquen reducir la utilización innecesaria de recursos, y por ende los impactos potenciales generados por la misma, orientando así hacia la búsqueda del desarrollo sostenible” (Jaimes M. et al., 2012).

En cuanto al concepto de exergía, los estudios surgen a mediados del siglo XX, focalizándose en las aplicaciones energéticas y de eficiencia de procesos de producción. De igual forma, la investigación desarrollada a partir de esa época es continuada en este sentido; sin embargo, esos estudios no incluyen sistemas de aguas residuales (Ibagón Gutiérrez, 2021, p. 171). No obstante, cabe destacar que resulta sustancial el aporte potencial de evaluar la degradación en la calidad de los recursos, energéticos y no energéticos, dado que “cuando hay irreversibilidades presentes durante el proceso, entonces parte del potencial de generar trabajo que existía originalmente es disipado.” (Jaimes M. et al., 2012) entendiendo esta disipación como pérdida de trabajo útil, lo cual es posible su medición en una unidad común para todos los recursos. Más precisamente, se puede definir el concepto de exergía como un trabajo potencial del sistema cuando está llegando al equilibrio con el medio ambiente (Ignatenko, van Schaik & Reuter, 2007; Szargut, 2005).

Asimismo, para la recuperación de recursos a partir de residuos es de mayor difusión la aplicación de dos enfoques metodológicos para la contabilidad de recursos en el análisis de exergía y definiciones de sistemas. Por un lado, el enfoque de mapear todos los flujos y pérdidas de exergía dentro del sistema bajo investigación denominado “análisis de flujo de exergía”, y el enfoque de contabilidad de exergía siguiendo los principios de evaluación del ACVx mediante la aplicación de indicadores a los materiales y recursos incluidos en el sistema (Laner, Rechberger, De Soete, De Meester & Astrup, 2015, p.654), siendo esta última metodología la que se desarrollará en este trabajo.

Sobre la aplicación de la exergía como unidad común de medida, diversos autores plantean metodológicamente la demanda acumulada de exergía, con relación al ciclo de vida de un producto. Se propone como indicador “Cumulative Exergy Demand (CExD)” que se especifica en MJ-eq. como la sumatoria de exergía de todos los recursos intervinientes para proporcionar un proceso o producto. De igual forma, se plantea la CExD por unidad de producto, dividiendo el requerimiento total de exergía por el número de salidas de la unidad durante este período de tiempo (Bösch, Hellweg, Huijbregts & Frischknecht, 2007, p. 182). Esto permite el cálculo del requerimiento de recursos a partir de las bases de datos del ciclo de vida como Ecoinvent con un enfoque específico del producto. Asimismo, esta metodología brinda la posibilidad de contemplar como recurso para cálculo en las distintas categorías de CExD el agua, la biomasa y los recursos renovables, en comparación con CML'01 (the abiotic-resource-depletion category of CML 2001) y Eco-indicator 99, que no contemplan estos recursos o en las categorías CED (demanda acumulada de energía) que sí evalúa la biomasa, pero no el agua (Bösch et al., 2007, p. 181). Por otra parte, el indicador CExD incluye la calidad de la energía y los materiales no utilizados energéticamente, siendo fácilmente calculable los valores de exergía para los recursos con composición conocida.

De igual forma, diversos autores basan la metodología en el reconocimiento que la exergía acumulada ocurre en forma de energía química, térmica, cinética, potencial, nuclear y radiactiva (Bösch et al., 2007; Ignatenko et al., 2007; Jaimes M. et al., 2012; Szargut, 2005) incluida en los recursos evaluados, considerando las formas de energía relevantes asociadas a la utilización de cada recurso. Por lo tanto, algunas variantes en la aplicación y clasificación de esta metodología dependerán de los recursos intervinientes y de los procesos evaluados.

Por su parte, Ignatenko (2007) propone estimar la sostenibilidad del rendimiento de los sistemas utilizando como indicador la eficiencia de los recursos, así como la recuperación de eficiencia; donde toma como herramienta de análisis exergético la eficiencia en el uso de los recursos, calculada como este sistema total. Determinando la exergía del sistema como:

$$E = (U - U^{eq}) + p^0 \cdot (V - V^{eq}) - T_0(S - S^{eq}) - \sum_c \mu_c^0(n_c - n_c^{eq}) \quad (1)$$

Donde E refiere al valor de exergía del sistema, U, V y S son la energía, el volumen y la entropía del sistema; U^{eq} , V^{eq} y S^{eq} la energía, el volumen y la entropía del sistema en equilibrio con el entorno; p^0 y T_0 el presión y temperatura del ambiente; μ_c^{eq} es el potencial químico en el equilibrio con el medio ambiente (estado de referencia); n_c y n_c^{eq} son la concentración del componente c y en el equilibrio con el ambiente.

De una forma más general, Jaimes M. et al. (2012) consideran que se pueden clasificar las pérdidas de exergía, entre pérdidas externas (productos de desecho, pérdida de calor y pérdidas en la conversión de exergía) y pérdidas internas (pérdida en la calidad de la exergía dado el aumento de entropía del sistema). En el cálculo del balance de exergía para un proceso estacionario, estos últimos autores definen el balance total de exergía en estado estacionario como la exergía que entra al sistema igualándola a las exergías que salen sumado a las que se destruyen y se pierden del sistema, siendo de mayor utilidad en procesos continuos estacionarios.

$$E_{entra} = E_{sale} + E_{pierde} + E_{destruye} \quad (2)$$

Donde E refiere al valor de exergía del sistema.

En cuanto al desarrollo e investigación en Latinoamérica sobre la aplicación de la exergía, como unidad de medida, se ha centrado en la evaluación de combustibles energéticos y eficiencia de procesos de producción energética, siguiendo las líneas de investigación iniciales, siendo aún incipiente su aplicación a flujos residuales en la referida región (Ibagón Gutiérrez, 2021, p. 171,). Por otra parte, la aplicación de la exergía, como unidad de medida, viene siendo observada como estrategia de investigación regional para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en el tratamiento de flujos residuales, fundamentalmente para la reducción de contaminantes y mejora de la calidad del agua; esto se debe a factores socioeconómicos, desarrollo agrícola e industrial, crecimiento de la población y la baja atención social y política que generan un incremento sobre la carga y el volumen de contaminación de las aguas residuales (Ibagón Gutiérrez, 2021, p. 171). Este tipo de análisis exergético proporciona las herramientas de cálculo para determinar la sostenibilidad de sistemas de aguas residuales, además, este trabajo representado en el concepto de exergía podría convertirse en energía utilizada para los sistemas de aguas residuales y otros procesos.

Lo abordado hasta aquí, sugiere que, en la evaluación de los recursos asociados a flujos residuales de un proceso industrial, la inclusión de metodologías que consideran la exergía como unidad de medida totalizante permitirá contemplar tanto recursos energéticos como no energéticos, para los que se conozca su composición. Esto corresponderá en la consideración de la inclusión de recursos como ser el agua, la biomasa o las energías renovables con mayor facilidad en el cálculo del ACVx y el desarrollo de su potencial para determinar la sostenibilidad de sistemas de flujos residuales.

3. LIMITACIONES METODOLÓGICAS EN EL ACV. IMPLICACIONES PARA LA MEDICIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD

Si en la anterior sección, se plantearon ciertas consideraciones metodológicas asociadas a la exergía como medida de sustentabilidad de recursos energéticos y no-energéticos, entonces, resulta apropiado interpelar epistemológicamente la metodología del ACV para comprender por qué la aplicación de la exergía al ACV viene a resolver ciertas limitaciones metodológicas a la medición de la sustentabilidad.

Convencionalmente y en base a los requisitos y directrices señalados en la Norma IRAM-ISO 14044:2008, un estudio de ACV presenta 4 fases: 1) la definición del objetivo y el alcance, en donde se define cuál es el propósito y qué se pretende analizar; 2) el análisis del inventario del ciclo de vida, en donde se realiza un inventario para calcular las entradas y salidas del sistema bajo estudio; 3) la evaluación del impacto ambiental, en donde se evalúan los impactos ambientales significativos en base a ciertas categorías de impacto ambiental, y 4) la interpretación de los resultados hallados.

Considerando que la primera fase de la referida metodología comprende definir los límites del sistema de un producto o procesos en estudio, resulta plausible comprender que establecer los límites de un sistema de referencia en un estudio de ACV se presenta en la práctica como viajar desde un Todo sin costuras a una porción de ese Todo, porque se otorga esencialidad a la intencionalidad representada en ese ámbito de estudio. Así pues, la delimitación tanto del sistema de referencia como de la unidad funcional del sistema en estudio conduce necesariamente a preguntarse acerca de cuál es el propósito perseguido.

Entonces, preguntarse acerca de la relevancia del propósito, subyacente en la identificación de los límites del sistema en el contexto de un estudio de ACV, conlleva a interrogarse acerca de las complejidades que supone delimitar analíticamente un proceso. Así pues, todo proceso denota cambio cualitativo, y todo cambio cualitativo se ubica en el orden de lo dialéctico. Por lo tanto, un orden dialéctico representa un desafío epistemológico a superar dado que sin posibilidad de describir analíticamente la variedad de procesos en que deviene, por ejemplo, la reconversión energética de residuos orgánicos industriales (ROIs), no es posible comprender los cambios que acontecen para que tal acontecimiento suceda, vale decir la obtención de energía a partir de ROIs.

De igual forma, la definición de los límites en la primera fase de un ACV también se asocia con la consideración epistemológica de cómo no caer en una regresión infinita y al mismo tiempo poder saber qué se puede conocer de aquello que está siendo transformado. En el caso de la reconversión energética de ROIs, ¿cómo saber qué parte del todo interesa delimitar analíticamente si no se ha otorgado un propósito analítico al mismo? En este caso, el Todo incluiría desde los recursos energéticos y no energéticos consumidos en el mismísimo proceso de generación de ROIs hasta en qué coordenadas espaciales y temporales se consume por ejemplo el biogás obtenido de esos ROIs. Pero si no hay un propósito analítico resultaría lo mismo establecer un límite analítico para ese Todo, lo cual en definitiva sería una imposibilidad analítica y, por ende, no poder conocer en qué deviene aquello que se transforma y que sí interesa conocerse.

En cuanto a la segunda fase del ACV, la realización de un análisis de inventario del ciclo de vida (ICV) implica definir en términos analíticos qué elementos entran y salen del límite del sistema de referencia en estudio, de modo de adentrarse en el procedimiento de realizar su cuantificación en un intervalo de tiempo que denota que el fenómeno en estudio se sujeta analíticamente a una duración que discretamente posee inicio y fin.

Asimismo, esta fase, a la vez, puede ser interpretada como un fenómeno dialéctico porque denota cambio de cualidades, pero y a pesar de que se está en un plano del orden de lo cualitativo, necesita en términos analíticos integrarse en un solo modelo formal, siendo precisamente el ICV de las entradas y salidas del proceso. De tal manera que los flujos de ingreso y egreso conforman el límite del proceso en un intervalo de tiempo, que al tener un principio y un fin expresan irreversibilidad, y lo que pretende cuantificarse

es precisamente una serie de transformaciones entrópicas de lo que ocurre cuando los flujos no-energéticos y energéticos, que tanto entran o salen de aquello que está siendo transformado, cambian de cualidades como la calidad del flujo de salida del agua en un proceso de digestión anaeróbica de ROIs.

De ahí que el proceso de construcción del ICV, cuando se pone en práctica, resulta ser extremadamente complejo, requiriéndose apelar a estrategias de simplificación recientemente debatidas por Beemsterboer, Baumann y Wallbaum (2020). Por ende, en la práctica, el procedimiento del inventario del ACV puede interpretarse como un fenómeno dialéctico que se va constituyendo en un esquema formal, y de tal forma, su propósito yace en elucidar analíticamente las cualidades de lo que entra y egresa, aunque no pueda dar cuenta verdaderamente de aquello que ha cambiado cualitativamente. Ahora bien, ¿por qué no verdaderamente verdadero?; porque la verdad propositiva va a venir dada por un orden que no se sujeta a cambios cualitativos, sino que a un orden en donde solo operan cambios que sí pueden ser sujetos plenamente a cuantificación, pero en tal caso no se estaría ante una representación real de lo que esencialmente no se sujeta al cambio cualitativo como lo es un proceso de reconversión energética.

Por lo tanto, las estrategias tanto de exclusión de determinados flujos como los enfoques semi cuanti-cualitativos (Arzoumanidis, Salomone, Petti, Mondello & Raggi, 2017; Beemsterboer et al., 2020; Heiskanen, 2002; Hur, Lee, Ryu & Kwon, 2004; Moberg et al., 2014) que permiten construir un ICV híbrido han de ser diferentes formas que implícitamente expresan la imposible proeza de aprehender en un solo modelo formal todas las transformaciones cualitativas ocurridas en los distintos procesos incluidos en un sistema bajo estudio.

Así las cosas, tanto la tercera como la cuarta fase de un ACV no están exentas de verse atravesadas por consideraciones epistemológicas. Fundamentalmente, la aplicación de estrategias de exclusión de categorías de impacto ambiental debatidas frecuentemente en la fase de la evaluación de impactos en el ciclo de vida (EICV) y en la fase de interpretación del ciclo de vida (Beemsterboer et al., 2020; Bretz y Frankhause, 1996; Cheng et al., 2018; Fleisher, Gerner, Kunst, Lichtenvort & Rebitzer, 2001; Hochschorner y Finneveden, 2003; van der Werf, Knudsen & Cederberg, 2020;) reflejan cómo la subjetividad y la arbitrariedad interpelan los resultados obtenidos de acuerdo a cómo se ha podido medir ciertos fenómenos para los cuales no se ha aplicado una única medida.

Así pues, la metodología del ACV se ha visto cuestionada como herramienta para evaluar los impactos ambientales, precisamente por los niveles de subjetividad introducidos en las señaladas fases, emergiendo de esta forma la necesidad de aplicar un enfoque más riguroso (Bösch et al., 2007; Nwodo y Anumba, 2020), y reconociendo un marco termodinámico desde donde cuantificar la sostenibilidad de un sistema bajo estudio (Finnveden, Arushanyan & Brandão, 2016).

Las limitaciones señaladas abrieron el camino para introducir al análisis exergético como un método superador, no solamente como indicador del agotamiento de recursos, sino que principalmente como un enfoque que permite cuantificar en una misma unidad de medida los recursos energéticos y no-energéticos (Simpson y Edwards, 2011; Morosuk, Tsatsaronis & Koroneos, 2016). Por ende, el análisis de exergía puede ser empleado en la fase del ICV para medir en una misma unidad de medida los flujos de entrada y salidas, y evaluar con mayor objetividad los impactos ambientales en términos de recuperación de eficiencia exergética.

Considerando que la misma norma, señala que “no hay base científica para reducir los resultados del ACV a un único número o a una única puntuación global, ya que la ponderación requiere juicios de valor” (IRAM-ISO 14040:2008, p. 143), entonces cabría evaluar en la próxima sección de este trabajo qué permite mejorar la aplicación del ACVx a partir de un caso de estudio hipotético de biodigestión de un flujo residual del faenamiento de ganado bovino.

4. EL ENFOQUE EXERGÉTICO APLICADO AL ACV Y LA MEDICIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD

En esta sección se compara el alcance del enfoque exergético aplicado al análisis de ciclo de vida para el caso hipotético de biodigestión de un flujo residual del faenamiento de ganado bovino para analizar cómo este enfoque permite mejorar la evaluación del impacto ambiental en términos de recuperación de eficiencia exergética como medida de sustentabilidad en comparación con el ACV.

La elección del referido estudio de caso hipotético se basó en el siguiente proceso. Primero, se georreferenciaron establecimientos industriales en el área local para generar un mapa con una base de datos para identificar los flujos residuales de los ROIs más representativos por rama de actividad. Después, se clasificaron los establecimientos industriales georreferenciados al nivel de cuatro (4) dígitos de la Clasificación Industrial Internacional Uniforme Revisión 4 - CIIU Rev.4 (Naciones Unidas, 2009) y a nivel de seis (6) dígitos del Código del Listado Europeo de Residuos (LER) (Decisión 2014/955/UE). El empleo del referido código se basó en la inexistencia de una clasificación nacional o regional, optándose por utilizar este código como estándar ampliamente difundido a nivel global. Posteriormente, se procedió al entrecruzamiento de los datos según su correspondencia en el código LER y en función de las actividades basadas en el tercer dígito del CIIU Rev. 4 para identificar específicamente los flujos residuales más representativos locales. De este entrecruzamiento, se observó que un 32,3% corresponden a establecimientos de faenamiento de ganado bovino y un 23,5% a industrias farináceas. Luego, se optó por elegir el flujo residual de la denominada línea roja de las actividades de faenamiento de ganado bovino como flujo de entrada principal para la reconversión energética de este ROI, asumiendo un proceso genérico de degradación anaeróbica por medio de una biodigestión típica correspondiente al estado de arte en dicho proceso. Asimismo, se indica que el criterio para la elección de esta opción se basó en la alta variabilidad de los compuestos presentes en los flujos residuales de las industrias farináceas y que, a la vez, estos se destinan mayoritariamente a las chancherías locales.

Por consiguiente y entendiendo que el propósito de realizar este estudio de caso hipotético es validar en la fase del ICV la aplicación del enfoque exergético en comparación con el ACV convencional, se estableció que el objetivo principal de este estudio hipotético sería analizar el alcance del ACVx con respecto al alcance del ACV para validar la tesis de por qué la recuperación de eficiencia exergética resulta ser una medida más robusta para evaluar los impactos ambientales en un proceso genérico de digestión anaeróbica de la línea roja del faenamiento de ganado bovino. Por lo tanto, la unidad funcional y debido al carácter hipotético de este estudio podría establecerse en x cabezas faenadas de ganado bovino por mes o por día, siendo los límites del sistema bajo estudio los detallados en la Figura 1. De esta forma, se observa en la referida figura cómo el límite del entorno del sistema bajo estudio representa ese Todo indicado en la sección anterior y cómo el límite del sistema bajo estudio viene a representar el itinerario desde ese Todo sin costuras a una porción de ese Todo, estableciéndose así un límite analítico. Esta definición del objetivo y del alcance indicados, como asimismo la unidad funcional seleccionada y los límites del sistema, constituirían la fase 1 para este estudio de caso hipotético.

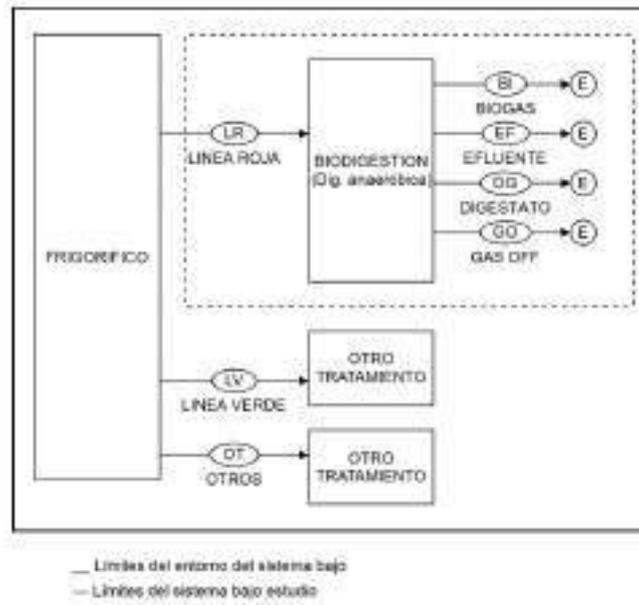


Figura 1 Límites del entorno del sistema y límites del sistema bajo estudio.

Tal como se señaló en la sección anterior, la fase del ICV denota cómo el cambio de cualidades de lo que entra y sale del sistema bajo estudio demanda en términos analíticos ser integrado en un modelo formal para cuantificar un orden de cosas cualitativas que de alguna manera necesitan un ordenamiento analítico, y así evaluar los potenciales impactos ambientales asociados a la reconversión energética de la mencionada línea residual de este estudio de caso hipotético. Así pues, la Tabla 1 presenta los principales compuestos del principal flujo de entrada al proceso de biodigestión según su valor exergético asociado y según su posible factor de caracterización por el cual resulta posible su cuantificación convencional. De igual manera, la Tabla 2 exhibe los principales compuestos de los flujos de salida del proceso de biodigestión en ambos métodos. Por ende, la construcción del ICV refleja la posibilidad de cuantificar de alguna manera las transformaciones entrópicas del referido proceso.

Considerando el propósito y el alcance definido en la fase 1, resulta conveniente en la fase del ICV evaluar el valor exergético asociado a cada línea de entrada y salida al proceso de biodigestión. Luego, resulta posible el análisis del flujo de exergía a través de la eficiencia de recuperación de recursos, según los planteado por Laner et al. (2015) como:

$$\text{Resource recovery efficiency} = \frac{\text{Exergy (useful outputs)}}{\text{Exergy (inputs)}} \quad (3)$$

Es decir, que dicha eficiencia Laner et al. (2015) la calcula dividiendo el contenido de exergía de los productos útiles por todos los insumos de exergía del escenario de tratamiento de residuos. En este caso de estudio hipotético, las primeras serían el biogás y el digestato (flujos de salida) y, siendo la segunda, la línea roja (flujo de entrada). Esto muestra las pérdidas de exergía en el sistema de biodigestión, siendo estos procesos reales, por lo tanto, procesos irreversibles que provocan la destrucción de la exergía.

Para la definición del valor de exergía a partir de la ecuación 4 para sistemas estacionarios, al considerar en este caso individualmente entradas y salidas, la exergía del sistema puede definirse a partir de “dividirse en cuatro componentes: exergía física, cinética, potencial y química” (Jaimes et al., 2012, p. 64), según la ecuación:

$$E = E^f + E^p + E^c + E^q \quad (4)$$

Donde E refiere al valor de exergía del sistema, E^f refiere a la exergía física, E^p refiere a la exergía potencial, E^c refiere a la exergía cinética, E^q refiere a la exergía química.

Dado que en el caso de estudio hipotético las exergías cinéticas y potencial se consideran despreciables, dichos términos de la ecuación no se tienen en cuenta. Además, en referencia a la exergía física del sistema, tanto el flujo de entrada como flujos de salida sus condiciones son próximas al ambiente estable, donde el valor de la exergía química describe adecuadamente sus principales componentes.

Para caracterizar los componentes de los principales flujos de entrada y de salida, dado que el caso en estudio es hipotético, se consideró bibliografía desarrollada para el caso de balance de exergía, ACVx y evaluación energética de procesos de faena bovina. Es destacable que la variabilidad de los flujos residuales y el tratamiento de biodigestión es relevante y se debe tener en cuenta tanto el tipo de ganado bovino, así como, el proceso de faena y pretratamiento de residuos aplicado (FAO, 2011; Pagés Diaz, 2015; Ware & Power, 2016). Por tal motivo, y dado que el motivo de este trabajo es validar la metodología y ventajas del ACVx respecto del ACV convencional, se consideran como principales compuestos representativos de la línea roja (flujo de entrada) los siguientes: lípidos, proteínas, carbohidratos y agua, donde el principal compuesto en dicho caso de estudio serán los lípidos de origen animal con alto valor exergético y potencial generación de metano (CH_4), así como, la aparición de carbohidratos en cantidad relevante dependerá del proceso de faena y la separación o no de la denominada línea verde.

Respecto a los flujos de salida, los identificados en el caso de estudio hipotético son el biogás, digestato, efluente y gas-off; los dos primeros de estos considerados como los flujos de productos útiles en la ecuación para eficiencia de recuperación de recursos. Para la determinación general de estos flujos, se utilizó la tabla 3 de Laner et al. (2015, p. 658) donde se consideran los principales compuestos en base al trabajo sobre la aplicación del análisis del flujo exergético y la evaluación del ciclo de vida exergético en residuos vegetales y domésticos, que se detallan en la Tabla 2. Cabe mencionar que a esta caracterización se incluye dentro del *gas-off* la presencia de amoníaco (NH_3), dados los compuestos identificados en el flujo de entrada, y que los diversos procesos de biodigestión consultados en el proceso metanogénico producen en etapas intermedias la generación de compuestos que en su forma estable se puede caracterizar como amoníaco en estado gaseoso como parte de los gases liberados al ambiente (*gas-off*).

Ahora bien, se observa en ambas tablas que al aplicar el método exergético en el ICV resulta posible calcular en una misma unidad de medida el valor asociado a cada uno de los principales componentes tanto del flujo de entrada como de los flujos de salida. En contraste, se aprecia que en la metodología convencional surge una variedad de unidades de medida que no necesariamente proporcionan el valor propio de ese componente identificado. Esta variedad de unidades de medida se debe a que en la metodología convencional los compuestos tanto de las entradas como de las salidas se asocian a determinadas categoría de impacto ambiental, que se cuantifican en relación con una emisión por categoría de impacto. Por lo tanto, el principal compuesto es informado en términos relativos a una específica emisión, basándose en factores de ponderación que permiten expresar el potencial de determinada categoría de impacto ambiental en términos de equivalente de la sustancia o del compuesto específico para esa determinada categoría de impacto ambiental.

No obstante, cabe indicar que las categorías de impacto ambiental por las cuales se caracterizan los compuestos se distinguen según la escala espacial asociada a los efectos de esos impactos, clasificándose así en locales las categorías de eutrofización, acidificación y formación de ozono fotoquímico y en

globales las categorías de cambio climático, agotamiento de ozono estratosférico, agotamiento de recurso bióticos y abióticos, entre otras categorías.

En principio, los factores de caracterización de aquellas categorías de impacto ambiental global podrían resultar más objetivos, asumiendo que los efectos del potencial de calentamiento global, el agotamiento de la capa de ozono y de los recursos bióticos y abióticos se distribuyen por igual a escala global. Sin embargo, suponer que los potenciales impactos afectan de igual manera a diferentes áreas geográficas resultaría desdeñar la variabilidad de esos impactos a escala local y/o regional. El caso testigo evidente sería la diferencia entre el estado de situación de la capa de ozono en el hemisferio sur en comparación con el hemisferio norte.

Habiendo realizado estas consideraciones, se evidencia al observar la última columna de las tablas 1 y 2 que en el ACV tradicional el proceso de cuantificación de los flujos de entrada y salida se vuelve menos objetivo y robusto para aquellos compuestos asociados a categorías de impactos ambientales locales, tales como la acidificación y la eutrofización, debido a que se requerirían calcular los factores de caracterización de estas categorías de impacto ambiental locales en base a modelos que introducen sesgos, debido a que se emplearían criterios de caracterización que no necesariamente se ajustarían a factores objetivos aplicables a una escala local.

Tal como objetan Nwodo y Anumba (2020) esas caracterizaciones se basan en la persistencia en que la cantidad de emisiones son liberadas como asimismo en su duración en el ambiente local, en la determinación de las especies presentes en el ecosistema expuesto a esas emisiones, y en el resultado del impacto sobre las especies en el ecosistema. Por consiguiente, la EICV asociada a esos factores se basará en estimaciones que presentan sesgos; por ende, la interpretación de esos resultados puede ser objetable. Por otra parte, y en referencia a las categorías de impactos ambientales locales, la mayoría de las bases de clasificación y caracterización utilizadas en el ICV han sido creadas para Europa y Norteamérica, condicionando de esta manera su aplicación por fuera de esas áreas y/o regiones. Si bien en la base de ReCiPe 2016, los factores de caracterización pueden llegar a ser representativos para una escala global, podrían surgir sesgos porque en gran medida ReCiPe 2016 se basa en la versión 2008 para escala europea, y porque el proceso de escalamiento global referido no ha sido bien documentado.

Asimismo, se observa al comparar el ICVx con el ICV convencional que los principales compuestos del flujo de entrada de la línea roja y el flujo de salida del digestato no podrían ser asociados a ninguna categoría de impacto ambiental, a excepción del agua de forma indirecta para la categoría de impacto de eutrofización por medio de considerar N total al agua como el factor para caracterizar los impactos asociados tanto a esa entrada como a esa salida. De igual forma, podría suponerse para las vísceras considerar al parámetro de la demanda química de oxígeno (DQO) como indicador asociado a la categoría de impacto de eutrofización. Asimismo, tanto el nitrógeno como el oxígeno presentes en el gas-off, si bien poseen potenciales efectos por ser altamente reactivos y convertirse en sustancias con potenciales impactos ambientales, no pueden por sí mismas ser identificadas con alguna de las categorías de impacto ambiental más utilizadas. En tal caso habría que suponer al N₂ como un NO_x para que de esta forma pueda ser asociado a las categorías de calentamiento global, eutrofización y acidificación y al O₂ como CO para ser relacionado con la categoría de formación de smog fotoquímico. Por ende, estas limitaciones planteadas en relación con la dificultad de cuantificar los compuestos de los flujos mencionados en el ICV tradicional traería aparejada ciertas implicaciones tanto en la fase de la EICV como en la posterior fase de interpretación de los resultados hallados.

Tabla 1 Análisis de Inventario - Flujos de entrada.

Flujo	Compuestos más representativos (2)	ACVx: Método de cálculo exergético y valor exergético asociado (1)		ACV: Unidad de medida según la categoría de impacto ambiental asociado
Línea Roja	Vísceras: Lípidos (C ₁₆ H ₃₂ O ₂) Proteínas (C ₁₆ H ₂₄ O ₅ N ₄) Carbohidratos (C ₆ H ₁₀ O ₅) Agua, l (H ₂ O)	Exergía química (b ⁰)	-C ₁₆ H ₃₂ O ₂ ; C ₁₆ H ₂₄ O ₅ N ₄ (exergía química b ⁰ en KJ/mol, según Tabla I, Tabla II y Tabla III de Szargut, 2005) (3) - C ₆ H ₁₀ O ₅ (exergía química b ⁰ : 2749,9 KJ/mol) (4) - H ₂ O (exergía química b ⁰ : 0,9 liq KJ/mol) (1)	H ₂ O: Eutrofización, indirectamente por medio de N al agua kg equivalente PO ₄ ³ /kg

(1) Morris & Szargut, 1986; Szargut 2005: T_n = 298,15 K p_n = 101,325 KPa

(2) FAO, 2011; Pagés Diaz, 2015, Ware & Power, 2016.

(3) Szargut, 2005: T_n = 298,15 K p_n = 101,325 KPa

(4) Jaimes, M. et al., 2012

Tabla 2 Análisis de Inventario - Flujos de salida. Comparación entre ACVx y ACV.

Flujo	Compuestos más representativos (3)	ACVx: Método de cálculo exergético y Valor exergético asociado (1)		ACV: factor de caracterización de la categoría de impacto ambiental y unidad de medida
Biogás	Metano, g (CH ₄) Agua, g (H ₂ O) Dióxido de carbono, g (CO ₂)	Exergía química (b ⁰)	- CO ₂ (exergía química b ⁰ : 19,87 KJ/mol) (1) - H ₂ O (exergía química b ⁰ : 9,49 gas KJ/mol) (1) - CH ₄ (exergía química b ⁰ : 831,65 gas KJ/mol) (2)	- CO ₂ : Potencial de calentamiento global kg equivalente CO ₂ /kg - H ₂ O: Potencial de eutrofización, indirectamente por medio de N al agua kg equivalente PO ₄ ³ /kg - CH ₄ : Potencial de calentamiento global Indicador: kg equivalente CO ₂ /kg

Digestato	Agua, l (H ₂ O) Alanina (C ₃ H ₇ NO ₂) Celulosa (C ₆ H ₁₀ O ₅) Ácido oleico (C ₁₈ H ₃₄ O ₂)	Exergía química (b ⁰)	- H ₂ O (exergía química b ⁰ : 0,9 liq KJ/mol) (1) - C ₃ H ₇ NO ₂ (exergía química b ⁰ : 1689,4 sol KJ/mol) (2) - C ₆ H ₁₀ O ₅ (exergía química b ⁰ : 2749,9 KJ/mol) (4) - C ₁₈ H ₃₄ O ₂ (exergía química b ⁰ : 11239,16 KJ/mol) (4)	H ₂ O: Potencial de eutrofización, indirectamente por medio de N al agua kg equivalente PO ₄ ³ /kg
Efluentes	Agua, l (H ₂ O)	Exergía química (b ⁰)	- H ₂ O (exergía química b ⁰ : 0,9 liq KJ/mol) (1)	H ₂ O: Potencial de eutrofización, indirectamente por medio de N al agua kg equivalente PO ₄ ³ /kg
Gas-off	Nitrógeno, g (N ₂) Oxígeno, g (O ₂) Agua, g (H ₂ O) Dióxido de carbono, g (CO ₂) Amoniaco, g (NH ₃) (2)	Exergía química (b ⁰)	- N ₂ (exergía química b ⁰ : 0,72 KJ/mol) (1) - O ₂ (exergía química b ⁰ : 3,97 KJ/mol) (1) - H ₂ O (exergía química b ⁰ : 9,49 gas KJ/mol) (1) - CO ₂ (exergía química b ⁰ : 19,87 KJ/mol) (1) - NH ₃ (exergía química b ⁰ : 337,9 KJ/mol) (1)	- H ₂ O: Potencial de eutrofización, indirectamente por medio de N total al agua kg equivalente PO ₄ ³ /kg - CO ₂ : Potencial de calentamiento global kg equivalente CO ₂ /kg - NH ₃ : Potencial de acidificación kg equivalente SO ₂ /kg

(1) Morris & Szargut, 1986: T_n = 298,15 K p_n = 101,325 KPa

(2) Morris & Szargut, 1986: T_n = 298,15 K p_n = 101,325 KPa y Gharagheizi et al 2014

(3) Laner et al., 2015, Tabla 3

(4) Jaimes M. et al., 2012

(5) Szargut, 2005: T_n = 298,15 K p_n = 101,325 KPa

5. REFLEXIONES FINALES

Dado que el presente estudio se basa en un caso hipotético, resulta apropiado resaltar una serie de consideraciones a modo de reflexiones finales con el propósito orientador de demostrar por qué la exergía como medida de eficiencia e indicador de la degradación de la calidad de los recursos, permite comprender los impactos ambientales en términos de recuperación de eficiencia exergética, y por lo tanto una medida de sustentabilidad más objetiva.

En primer lugar, se ha visto que la necesidad de cuantificar la cantidad de energía requerida en los flujos residuales de un proceso industrial plantea tomar un indicador comparable y medible para las corrientes y sustratos principales a fin de caracterizar la transformación de su energía y calidad. Por ende, se ha resaltado la relevancia de la aplicación del concepto termodinámico de exergía como unidad de medida única y comparable para los distintos flujos de residuos.

En segundo lugar, se ha examinado cómo en Latinoamérica la aplicación de la exergía, como unidad de medida, se ha centrado en la evaluación de combustibles energéticos y eficiencia de procesos de producción energética, siguiendo las líneas de investigación iniciales de esta área de estudio. Asimismo, se ha indicado que su aplicación a flujos residuales es aún incipiente, y que la inclusión de metodologías que reconozcan a la exergía como unidad de medida totalizante, posibilitará considerar tanto los

recursos energéticos como no energéticos con composición conocida en el tratamiento de flujos residuales bajo estudio a fin de evaluar su sustentabilidad (Ibagón Gutiérrez, 2021, p. 171).

En tercer lugar, se ha demostrado por medio de interpelar la base epistemológica de las fases del ACV por qué esta metodología se presenta como una práctica que constantemente busca simplificarse, de manera tal de no olvidarse que su propósito sigue siendo capturar la esencia cualitativa de los fenómenos que aborda, y que como tal, necesita valerse de esquemas analíticos para reflejar mejor las transformaciones entrópicas para evaluar e interpretar hasta dónde llega el alcance de un determinado conjunto de impactos. De ahí que el ACVx vendría a simplificar el proceso de construcción del ICV, otorgando un mayor nivel de objetividad en ese esquema analítico, otorgando de esta manera una medición más integral de esas transformaciones entrópicas al momento de realizar la EICV y la interpretación de los resultados hallados.

En cuarto lugar, se ha demostrado que el análisis del flujo de exergía a través de la eficiencia de recuperación de recursos propuesta por Laner et al. (2015) e indicada en ecuación 3 permite conocer las pérdidas de exergía en el sistema de biodigestión del caso hipotético seleccionado, siendo un proceso irreversible que provoca la destrucción de la exergía y de ahí su relevancia para la evaluación ambiental en términos de eficiencia exergética.

En quinto lugar, se ha podido construir el ICV de este estudio de caso hipotético tanto bajo el método exergético como bajo el método convencional de categorías de impacto ambiental, y se ha constatado que bajo el método ACVx resulta posible no solamente cuantificar cada uno de los compuestos de los flujos de entrada y salida en una única unidad de medida, sino que permite cuantificar la contribución de cada uno de estos compuestos acumulativamente en comparación con el método convencional del ACV. Asimismo, se ha comprobado por qué bajo el ICV tradicional los factores para caracterizar impactos ambientales de escala local y/o regional se sujetan a modelos sesgados, valiéndose de criterios de caracterización no ajustados a factores objetivos parametrizados a escala local. En este sentido, el ICV bajo el método ACVx no dependería de factores originados en algún modelo de caracterización de las bases de datos comerciales, dado que al tener los resultados del análisis del ICV bajo una misma unidad de medida, ese análisis puede prescindir de la necesidad de ser asignado a la unidad común del indicador de la categoría ambiental a la cual se refiere.

Finalmente, cabe señalar que resultaría ser una mera simplificación de ejercitación teórica y práctica suponer que la aplicación del enfoque exergético no presentaría inconvenientes, requiriendo ser evaluados en el contexto de un caso de estudio real, y a la vez, clarificados a la luz de los últimos avances en esta área de estudio. Por lo pronto, este trabajo ha servido como *meditatio*, una meditación en el sentido del ejercicio en el pensamiento que fusiona lo teórico y lo práctico para reorientar la metodología del análisis de ciclo de vida desde el enfoque exergético y su interrelación con la medición de la sustentabilidad de recursos energéticos y no energéticos en procesos de reconversión energética a partir de ROIs.

6. REFERENCIAS

- Arzoumanidis, I., Salomone, R., Petti, L., Mondello, G., & Raggi, A. (2017). Is there a simplified LCA tool suitable for the agri-food industry? An assessment of selected tools. *Journal of Cleaner Production*, 149, 406-425. doi:10.1016/j.jclepro.2017.02.059
- Beemsterboer, S., Baumann, H., & Wallbaum, H. (2020). Ways to get work done: a review and systematisation of simplification practices in the LCA literature. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 25, 2154–2168. doi:[10.1007/s11367-020-01821-w](https://doi.org/10.1007/s11367-020-01821-w)

- Bösch, M. E., Hellweg, S., Huijbregts, M. A. J., & Frischknecht, R. (2007). Applying Cumulative Energy Demand (CExD) Indicators to the ecoinvent Database. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 12 (3) 181–190. doi: [10.1065/lca2006.11.282](https://doi.org/10.1065/lca2006.11.282)
- Bretz, R., & Frankhauser, P. (1996). Screening LCA for large numbers of products: estimation tools to fill data gaps. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 1(3), 139-146. doi: 10.1007/BF02978941
- Cheng, Ming-H., Sekhon, J. J. K., Rosentrater, K. A., Wang, T., Jung, S., & Johnson, L. A., (2018). Environmental impact assessment of soybean oil production: extruding-expelling process, hexane extraction and aqueous extraction. *Food Bioproduction Process* 108, 58-68. doi: [10.1016/j.fbp.2018.01.001](https://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.01.001)
- Decisión 2014/955/UE. (18 de diciembre de 2014). Decisión de la Comisión Europea, por la que se modifica la Decisión 2000/532/CE, sobre la lista de residuos, de conformidad con la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, Texto pertinente a efectos del EEE .Bruselas: Diario Oficial de la Unión Europea, L370, 44-86. Recuperado de: <https://www.boe.es/doue/2014/370/L00044-00086.pdf>
- División de Estadísticas de las naciones Unidas (2009). *Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas* (CIIU Serie M, No. 4/Rev. 4). Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, División de Estadística, Informes estadísticos. Nueva York: Naciones Unidas. Recuperado de: https://unstats.un.org/unsd/publication/seriesm/seriesm_4rev4s.pdf
- Finnveden, G., Arushanyan, Y., & Brandão, M. (2016). Exergy as a Measure of Resource Use in Life Cycle Assessment and Other Sustainability Assessment Tools. *Resources*, 5(3), 23. doi:[10.3390/resources5030023](https://doi.org/10.3390/resources5030023)
- Fleischer, G., Gerner, K., Kunst, H., Lichtenwort, K., & Rebitzer, G. (2001). A semi-quantitative method for the impact assessment of emissions within a simplified life cycle assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 6(3), 149-156. doi: [10.1007/BF02978733](https://doi.org/10.1007/BF02978733)
- Heiskanen, E. (2002). The institutional logic of life cycle thinking. *Journal of Life Cycle Assessment*, 10, 427–437. doi: [10.1016/S0959-6526\(02\)00014-8](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(02)00014-8)

- Hochschorner, E., & Finnveden, G. (2003). Evaluation of two simplified life cycle assessment methods. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 8(3), 119-128. doi: [10.1007/BF02978456](https://doi.org/10.1007/BF02978456)
- Hur, T., Lee, J., Ryu, H., & Kwon, E. (2005) Simplified LCA and matrix methods in identifying the environmental aspects of a product system. *Journal of Environmental Management*, 75:229–237. doi: [10.1016/j.jenvman.2004.11.014](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2004.11.014)
- Ibagón Gutiérrez, L. M. (2021). Exergy use review of wastewater study in Latin America. *DYNA*, 88(216), 170–175. doi: [10.15446/dyna.v88n216.89054](https://doi.org/10.15446/dyna.v88n216.89054)
- Ignatenko, O., van Schaik, A., & Reuter, M. A. (2007). Exergy as a tool for evaluation of the resource efficiency of recycling systems. *Minerals Engineering*, 20(9), 862-874. doi:[10.1016/j.mineng.2007.03.005](https://doi.org/10.1016/j.mineng.2007.03.005).
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2008) *Gestión Ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia* (IRAM-ISO 14040:2008). Buenos Aires, Argentina: IRAM.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2008) *Gestión Ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices* (IRAM-ISO 14044:2008). Buenos Aires, Argentina: IRAM.
- Jaimes, M. W. A., Rocha, S., Vesga, J. N., & Kafarov, V. (2012). Análisis termodinámico del proceso real de extracción de aceite de palma africana. *PROSPECTIVA*, 10(1),61-70. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=496250733007>
- Laner, D., Rechberger, H., De Soete, W., De Meester, S., & Astrup, T. F. (2015) Resource recovery from residual household waste: An application of exergy flow analysis and exergetic life cycle assessment. *Waste Management*, 46, 653–667. doi: [10.1016/j.wasman.2015.09.006](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.09.006)
- Moberg, Å., Borggren, C., Ambell, C., Finnveden, G., Gulbrandsson, F., Bondesson, A.,... Bergmark, P. (2014). Simplifying a life cycle assessment of a mobile phone. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(5), 979-993. doi: [10.1007/s11367-014-0721-6](https://doi.org/10.1007/s11367-014-0721-6)
- Morosuk, T., Tsatsaronis, G., Koroneos, C. (2016) Environmental impact reduction using exergy-based methods. *Journal of Cleaner Production*, 118, 118–123. doi: [10.1016/j.jclepro.2016.01.064](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.064)
- Morris, D. R., & Szargut, J. (1986). Standard chemical exergy of some elements and compounds on the planet Earth. *Energy*, 11(8), 733-755. doi: [10.1016/0360-5442\(86\)90013-7](https://doi.org/10.1016/0360-5442(86)90013-7)

- Nwodo, M. N., & Anumba, C. J. (2020). Exergetic Life Cycle Assessment: A Review. *Energies*, 13(11), 2684. doi: [10.3390/en13112684](https://doi.org/10.3390/en13112684)
- Organización de las naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), & Ministerio de Energía del Gobierno de Chile. (2011). *Manual de biogás*. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>
- Pagés Diaz, Jhosané (2015). Biogas from slaughterhouse waste: Mixture interactios in co-digestion. (Tesis para el Doctorado en Filosofía, Universidad de Borås). Universidad de Borås, Allégatan 1, Borås, Suecia. Repositorio institucional <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:hb:diva-847>
- Simpson, A. P., & Edwards, C. F. (2011). An exergy-based framework for evaluating environmental impact. *Energy*, 36, 1442–1459. doi: [10.1016/j.energy.2011.01.025](https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.01.025)
- Szargut, J. (2005). *Exergy Method: Technical and Ecological Applications*. WIT Press.
- van der Werf, H. M., Knudsen, M. T., & Cederberg, C. (2020). Towards better representation of organic agriculture in life cycle assessment. *Nature Sustainability*, 3(6), 419-425. doi: [10.1038/s41893-020-0489-6](https://doi.org/10.1038/s41893-020-0489-6)
- Ware, A., & Power, N. (2016). Biogas from cattle slaughterhouse waste: Energy recovery towards an energy self-sufficient industry in Ireland. *Renewable Energy*, 97, 541-549. Doi: [10.1016/j.renene.2016.05.068](https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.05.068)

Estrategias y resultados en el seguimiento de cohortes: una mirada introspectiva para la carrera de ingeniería industrial en la UNMDP

Morcela, Oscar Antonio

omorcela@fi.mdp.edu.ar

Universidad Nacional de Mar del Plata (Argentina).

Carrizo, Guillermo Adrián

gcarrizo@inti.gob.ar

Universidad Nacional de Mar del Plata (Argentina).

D'Onofrio, María Victoria

vickyfi@fi.mdp.edu.ar

Universidad Nacional de Mar del Plata (Argentina).

Fecha de recepción RIII: 11/06/2024

Fecha de aprobación RIII: 18/10/2024

RESUMEN

En el sistema de educación universitaria es fundamental el estudio de variables vinculadas a la evolución de las cohortes, para contar con información relevante en la toma de decisiones. Dirigir los esfuerzos y las políticas educativas para garantizar la permanencia de los estudiantes en la universidad y optimizar las tasas de titulación, contribuye a la mejora de la calidad académica de las carreras. En el artículo se presentan los resultados del estudio de seguimiento de cohortes realizado en la carrera de Ingeniería Industrial de la UNMDP, entre los años 2003 y 2022. En función de los datos disponibles, se seleccionaron los indicadores correspondientes de retención, deserción y egreso. A partir de los resultados obtenidos, se presentan propuestas de acción para actualizar el Sistema de Tutorías, detectar asignaturas o núcleos temáticos en los que se profundizan fenómenos de deserción y ralentización, así como también implementar actividades que promuevan la disminución de la duración real de la carrera.

Palabras Claves: Ingeniería Industrial; seguimiento de cohorte; ralentización; duración de carrera

Strategies and results in cohort tracking: an introspective look at the industrial engineering career at UNMDP

ABSTRACT

In the university education system, the study of variables related to cohort evolution is essential for obtaining relevant information in decision-making processes. Directing efforts and educational policies to ensure student retention and optimize graduation rates contribute to improving the academic quality of programs. This article presents the results of a cohort tracking study conducted in the Industrial Engineering program at UNMDP from 2000 to 2020. Based on the available data, the corresponding indicators for cohort retention, dropout, and graduation were selected. The obtained results lead to proposed actions for updating the Tutoring System, identifying subjects or thematic areas where attrition and slowdown phenomena are prevalent, and implementing activities aimed at reducing the actual duration of the program.

Keywords: Industrial Engineering; cohort tracking; slowdown; program duration extension

Estratégias e resultados no monitoramento de coortes: um olhar introspectivo para a carreira de engenharia industrial no UNMDP

RESUMO

No sistema de ensino universitário, o estudo das variáveis ligadas à evolução das coortes é essencial para se ter informações relevantes para a tomada de decisões. Direcionar esforços e políticas educacionais para garantir a permanência dos estudantes na universidade e otimizar as taxas de graduação contribui para melhorar a qualidade acadêmica das carreiras. O artigo apresenta os resultados do estudo de monitoramento de coorte realizado no curso de Engenharia Industrial do UNMDP, entre 2003 e 2022. Com base nos dados disponíveis, foram selecionados os correspondentes indicadores de retenção, evasão e graduação. Com base nos resultados obtidos, são apresentadas propostas de ações para atualizar o Sistema de Tutoria, detectar disciplinas ou núcleos temáticos em que se aprofundam fenômenos de abandono e desaceleração, bem como implementar atividades que promovam a redução da duração real da carreira.

Palavras chave: Engenharia Industrial; rastreamento de corte; desaceleração; duração da carreira

1. INTRODUCCIÓN

El 27 de marzo de 1990, por Ordenanza de Consejo Académico (OCA) 394/90 se crea el Departamento de Gestión Industrial, sucediendo al Departamento de Economía Organización y Legal. Los objetivos fueron fortalecer el Área de Gestión Industrial, brindando servicios de extensión y divulgación en los temas de su competencia y en 2002 se constituye en el Departamento de Ingeniería Industrial (DII). El DII siempre se ha destacado por su enfoque interdisciplinario y su relación con el medio socio productivo local. Los Programas para el Mejoramiento de la Enseñanza de la Ingeniería (PROMEI) han sido importantes para su desarrollo académico y de investigación, pero el DII ha experimentado un aumento en la cantidad de estudiantes sin un crecimiento estructural suficiente. Para abordar este problema, ha incorporado estrategias y recursos mediados por TIC, incluyendo un Campus virtual pionero que ha sentado las bases para la virtualización real.

La carrera de Ingeniería Industrial se ha convertido en la terminal con mayor cantidad de graduados aportados (34,1% del total en el período 2020-2021) a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata - UNMDP (ver Figura 1). Por su naturaleza transversal es responsable de un conjunto de asignaturas que se ofrecen para las otras carreras de grado, tanto en modalidad obligatoria como optativa (durante 2022 el DII dictó 47 cursos con 2248 inscriptos totales, y es el departamento de carrera que más demanda atiende).

El desarrollo del DII y de la carrera no ha estado exento de complejidad, en tanto que las restricciones presupuestarias y estructurales se han combinado a lo largo de su historia con la demanda y consecuentemente, ha producido una serie de resultados, cuya interpretación es el objetivo principal del presente trabajo.

En 1999, mediante Ordenanza de Consejo Superior (OCS) 1725/99, se aprueba la carrera de Ingeniería Industrial como segundo título, la cual cuenta con el reconocimiento oficial del Ministerio de Educación a través de la Resolución 104/2000. El primer graduado llega en 2002, gracias a que la duración del ciclo de complementariedad propuesto era de 2 años. Finalmente, en el año 2002 se aprueba el primer plan de estudios de la carrera de Ingeniería Industrial como título de grado dentro del ámbito de la Facultad de Ingeniería (OCA 121/02 - OCS 1228/02), que en ese momento contaba con otras siete carreras de grado (Ing. Química, en Materiales, en Alimentos, Electrónica, Electromecánica, Mecánica y Eléctrica). Su primer egresado llegó en 2007 y marca el inicio de un crecimiento sostenido que se incrementa año a año.

La vida universitaria es dinámica y la administración de las carreras responde a ese dinamismo mediante mutaciones estructurales, provisión de herramientas para asegurar la continuidad pedagógica (Aldave y Farina, 2020), planes de contingencia, planes de fortalecimiento de funciones tales como la investigación, la extensión y la gestión que constituyen un capital estratégico para el logro de los objetivos (Gago, 2020), aunque a priori podría pensarse que el proceso de adaptación ha tenido componentes de pseudo improvisación (Del Río et al., 2020) pero no es más que el resultado de años de aprendizaje institucional aplicados a la innovación y a la gestión del cambio en un sistema complejo, compuesto de partes interrelacionadas que como conjunto exhiben propiedades y comportamientos no evidentes a partir de la suma de las partes individuales.

Existen estudios sobre el desgranamiento en carreras universitarias (Tinto, 2006) que sostienen que alrededor del 60% de la deserción sucede antes del inicio del segundo año, con problemáticas centradas en planes de estudio y regímenes de enseñanza y aprendizaje que resultan poco flexibles (Villanueva, 2004). La rigidez manifestada por las carreras viene de la mano de la extensión de programas de contenidos, la rigurosidad de correlatividades y la carga horaria (García et al., 2006) que contrasta el incremento constante en la matrícula de ingresantes con las tasas de egreso observadas.

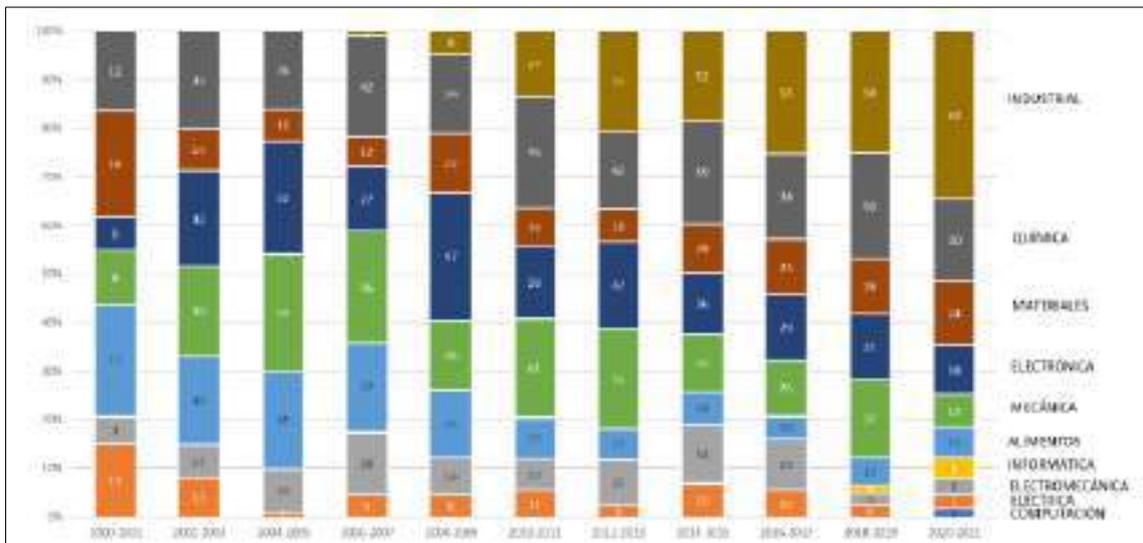


Figura 1 Participación de cada una de las carreras en la cantidad de graduados por período, Facultad de Ingeniería de la UNMDP. Fuente: Departamento de Estudiantes FI-UNMDP. Elaboración propia.

Adicionalmente debe considerarse que no todas las variables están bajo el control de la institución educativa o de la carrera, sino que existen variables predictivas basadas en la situación del estudiante previo al ingreso, como la socioeconómica, el nivel de preparación académica, la localización, el capital social familiar (Lattuada, 2017). La implementación de estrategias de acompañamiento, tutoría y seguimiento suelen ser positivas en la evolución de dichos factores.

La detección de los factores que influyen en estos resultados es crítica para el estudio de las estrategias que permitan la detección temprana de alertas para la intervención, que permita incrementar la retención y la tasa de graduación.

En el presente trabajo se analiza la información estadística disponible en el seno de la carrera, con el fin de construir y evaluar los indicadores de retención y deserción, para el desarrollo de estrategias conducentes a mejorar los resultados que pueden representarse por la tasa de graduación y la duración real de la carrera.

Toda esta información ha sido procesada en un estudio centrado en el análisis de cohortes de la carrera, a fin de identificar la evolución de indicadores de retención y egreso a lo largo del tiempo, con el objetivo de correlacionar estos indicadores con sucesos de cambio de contexto (estructural, tecnológico, social, sanitario).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El relevamiento de los principales indicadores de acceso público (Secretaría de Políticas Universitarias - SPU) permite observar que desde sus inicios en el año 2000 como segunda carrera y principalmente a partir de 2003 con el nuevo plan de carrera, Ingeniería Industrial ha sostenido el interés de los aspirantes al ingreso, tendencia que se ha mantenido estable en los últimos años alrededor de 110 ingresantes.

Cabe mencionar que a partir de la Ley de Educación Superior 24521/95 el ingreso a las universidades nacionales es irrestricto, pero la UNMDP demoró en adecuar su Estatuto hasta el año 2016 (fecha en que se resolvieron los diferendos judiciales y se dictó sentencia definitiva sobre las objeciones planteadas

frente a la Ley de Educación Superior - LES). En el nuevo Estatuto se consagra entre otras cosas la naturaleza irrestricta del ingreso, por tanto, se acepta que la distinción entre aspirantes e ingresantes ya no puede ser tal, por lo que todos los aspirantes son ingresantes al momento de completar su trámite de inscripción. Esta situación es acompañada en el cómputo oficial con una discontinuidad en la tendencia que se observa en el año 2018. En la Facultad de Ingeniería, no obstante, se incorpora una restricción en la forma de requisito académico con el nombre de "Introducción a la Ingeniería" (RA8) que es una especie de requisito común, indispensable para comenzar el cursado de las asignaturas del primer año de cualquiera de las carreras, por lo que resulta interesante sostener la distinción entre aspirante e ingresante para diferenciarlos.

Estos indicadores resultan insuficientes para intentar explicar el desgranamiento, pero es posible incrementar el detalle de información en base a los registros de cantidad de inscriptos por cada asignatura en cada período (datos tomados de las asignaciones de funciones docentes, disponibles en el digesto institucional para el período 2016 – 2022).

Para el análisis debe considerarse diferenciadamente la información disponible para las asignaturas del ciclo básico común (donde no se cuenta con la información desagregada) y las del ciclo de formación específico de la carrera, donde se dispone de mayor detalle.

3. RESULTADOS

Del análisis pormenorizado del período 2018-2022 (Tabla 1), se observa que en promedio, entre el 61% y el 69% de los inscriptos abandonan la condición de aspirantes durante el primer año al cumplimentar el RA8. La evolución de indicadores para la carrera puede verse en la Tabla 2 para el período correspondiente a 2018-2022, considerando que solamente se disponen de datos de aspirantes a partir del ciclo 2018, en tanto la evolución del período 2001-2017 se muestra en la Tabla 3.

Tabla 1 Situación de las personas inscriptas a la carrera (2018-2022).

	2018	2019	2020	2021	2022
Rechazados	8	11	12	0	0
Aspirantes	68	64	64	55	52
Ingresantes	107	106	102	97	117
	61%	62%	61%	64%	69%
Total Inscriptos	183	181	178	152	169

Fuente: Elaboración propia en base a información del Área Ingreso, Facultad de Ingeniería -UNMDP.

Tabla 2 Indicadores de seguimiento de la SPU (incluye aspirantes a partir de 2018).

	2018	2019	2020	2021	2022
Aspirantes	175	170	166	152	169
Ingresantes	107	106	102	97	117
Reinscriptos	395	376	416	435	425
Egresados/as	34	27	26	36	31

Fuente: elaboración propia en base a datos de la SPU y registros internos de la carrera.

Tabla 3 Indicadores de seguimiento SPU (nuevos ingresos, reinscripciones y graduaciones).

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Ingresantes	7	101	59	43	45	51	60	60	63	69	52	78	74	107	100
Reinscriptos		47	86	77	160	208	133	225	258	223	267	279	412	358	371
Egresados Plan 2003					2	6	3	10	17	27	28	19	33	30	25

Fuente: elaboración propia en base a datos de las SPU y registros internos de la carrera.

En la Tabla 4, se hace referencia a la capacidad de retención para primer año, estimada como la proporción resultante entre los cursantes efectivos en cada cuatrimestre y su consecutivo, donde claramente no se habla de proporción de aprobación, sino simplemente se pone de manifiesto la baja en la reinscripción de los estudiantes en el siguiente cuatrimestre. Esta disminución puede explicarse por diversas causas, pero objetivamente habla de una proporción de estudiantes que salen momentáneamente del sistema universitario.

Para el análisis particular de la carrera, si bien no es posible con los datos disponibles, desagregar primer año en las asignaturas de cada cuatrimestre, se puede conocer un estimador de retención global para el año. Asimismo, es posible determinar un coeficiente de retención para cada cuatrimestre a través de los inscriptos a las asignaturas que se dicta con exclusividad en cada período.

Dentro del trayecto de la formación académica del estudiante existen tres períodos críticos en que las interacciones entre la institución y los alumnos pueden influir directamente en la deserción, la Deserción Precoz, la Deserción Temprana y la Deserción Tardía (Tinto, 1989, como se citó en Istvan, 2022).

La Deserción Precoz tiene lugar durante los primeros contactos del estudiante con la institución, en el proceso de admisión. Durante la etapa de indagación de los requisitos para ingresar a una institución, los estudiantes forman sus primeras impresiones sobre las características sociales e intelectuales de la misma, creando expectativas sobre la vida institucional o académica previo a su ingreso. Luego esas expectativas influyen en la calidad de las primeras interacciones que se establecen con la institución pudiendo conducir a decepciones tempranas en el caso que lo esperado sea mayor que lo recibido, lo cual se puede apreciar en la Tabla 1, con un 31% de deserción precoz para el año 2022.

Tabla 4 Evolución de reinscripciones por cuatrimestre, en los dos primeros años del ciclo básico de Ingeniería.

Ciclo Básico Común	Promedio (2016-2022)		2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022	
	1c	2c	1c	2c	1c	2c	1c	2c	1c	2c	1c	2c	1c	2c	1c	2c
RA8	331	81	278	89	309	96	292	96	309	74	266	98	439	69	423	43
PRIMER AÑO	456	295	440	302	422	296	403	303	425	313	357	275	551	316	594	258
SEGUNDO AÑO	231	217	223	220	224	225	230	230	216	202	275	245	231	210	220	189
RETENCIÓN de primer año	65%	22%														

Fuente: elaboración propia en base a cantidad de inscriptos a cursadas, Departamento de Estudiantes, Facultad de Ingeniería-UNMDP.

La Deserción Temprana tiene lugar luego del ingreso, durante el primer semestre y en particular en las primeras seis semanas. En este período de tiempo se desarrolla la transición entre la enseñanza media y la institución. Para el estudiante el cambio de la escuela secundaria a la universidad implica desenvolverse de manera independiente, tanto en el aula como en los distintos espacios institucionales. También influye la formación de expectativas equivocadas sobre las condiciones de vida académica y estudiantil en el medio universitario, la falta de adaptación por parte del estudiante al ambiente institucional, la ausencia de compatibilidad entre los intereses o preferencias del estudiante y las exigencias de la vida académica, o simplemente la conclusión de que completar estudios universitarios no constituye una meta deseable pueden conducir a decepciones que llevan a la deserción temprana.

Si bien no se cuenta con los datos suficientes para determinar el desempeño de los estudiantes en el período mencionado, en la Tabla 4 se puede observar el comportamiento de todos los estudiantes del ciclo básico común de la Facultad de Ingeniería durante su primer y segundo año, presentando el porcentaje de Retención. Puede considerarse que el 65% de retención observada en promedio en el período 2016-2022, corresponde a la retención del primer cuatrimestre de la carrera, esto indicaría que

el 35% restante es consistente con la Deserción Temprana, ya que no se ha llegado a la mitad de la carrera. Asimismo, para el segundo cuatrimestre se ha calculado un 22% de deserción, lo que acumula un 49% de deserción para el primer año de la Facultad.

En la Tabla 5 se presentan datos agregados para la carrera de Ingeniería Industrial, donde ha podido verificarse una retención global para el primer año (considerando solamente los inscriptos a la carrera) que asciende al 79%, lo que implicaría una deserción en primer año de alrededor del 21%, que es sensiblemente más baja que el global de la Facultad. Durante el segundo año de la carrera la retención ronda el 75%.

“La Deserción Tardía se presenta cuando el abandono del estudiante ocurre en el último tramo de la carrera, donde el estudiante ha superado más de la mitad de la carga académica. Por este motivo, se asocia a un tipo de deserción mucho más costosa, debido a los costos invertidos por el estudiante en sus estudios” (Guzmán et al., 2014, como se citó en Istvan, 2022, p. 15). En este contexto es posible encontrar estudiantes cuyas metas educativas son más limitadas o más amplias que las de la institución a la cual ingresaron y optan por desertar.

“Otro caso de deserción es el de los estudiantes que trabajan y asisten a la universidad y que esto puede implicar el propósito de adquirir un conjunto de habilidades específicas requeridas por las tareas que desempeñan, así como también los estudiantes que consiguen trabajos profesionales antes de completar un programa de estudios, ya que esto puede resultar suficiente para lograr sus metas (Tinto, 1989, como se citó en Istvan, 2022, p. 15).

En la Tabla 5 se presentan los recuentos para el período 2016-2022, considerando los aspirantes diferenciados de los ingresantes, toda vez que los primeros se encuentran completando el RA8 en tanto que los segundos comienzan a cursar las asignaturas de primer año. Además de aportar los inscriptos promedio de cada cuatrimestre de la carrera, se ofrecen las cantidades de trabajos finales (TF) rendidos cada año y se calcula un índice de retención global de la carrera, como porcentaje de los estudiantes con posibilidades de cursar en relación a los efectivamente reinscritos en el ciclo lectivo. Del mismo modo se presenta la retención promedio por tramo temporal (cuatrimestre o año, según disponibilidad de datos desagregados) que siempre representa el porcentaje de reinscritos en dos cuatrimestres consecutivos. La Deserción Tardía promedio del período es del 33%. Algunos estudiantes que no se reinscribieron al año siguiente pueden haber abandonado la carrera o el sistema sólo temporariamente y por tanto no constituyen estrictamente deserción.

Tabla 5 Evolución de inscripciones a cursadas en la carrera de Ingeniería Industrial (2016-2022).

		2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022		RETENCIÓN promedio por tramo	
		1c	2c														
RA8 (aspirantes)						175		170		166		152		169		63%	
AÑOS	PRIMERO (ingresantes)	107		100		107		106		102		97		117		79%	
	SEGUNDO	55	57	85	77	83	75	84	65	88	76	109	65	78	49	80%	93%
	TERCERO	52	43	54	40	56	56	74	65	66	71	75	55	56	53	88%	78%
	CUARTO	34	32	41	42	32	26	48	46	56	55	51	54	38	41	99%	113%
	QUINTO	35	32	38	37	45	35	45	39	49	45	78	57	42	46	87%	76%
TF (rendidos)		23		25		41		29		24		48		32		94%	
GRADUADOS		30		25		34		27		26		36		31			
Deserción Tardía		33%		39%		27%		39%		46%		29%		16%			

Fuente: elaboración propia en base a registro de inscripciones a cursadas Departamento de Estudiantes, Facultad de Ingeniería-UNMDP.

Por último, en la Figura 2 se presenta un mapa de calor con el seguimiento de cohortes para la carrera, donde puede observarse la evolución desde su lanzamiento como carrera de grado (2003) y también la evolución previa como carrera de segundo grado (2000-2002).

Se puede observar la evolución de varios parámetros relevantes para el análisis. El primero de ellos tiene que ver con la distribución de personas graduadas a lo largo de los años de ejecución del plan, donde se observa que en la diagonal aparecen marcados en verde las mayores concentraciones de graduados de cada cohorte, con un tiempo medio de duración de carrera cercano a la duración teórica (5 años). Los eventos que se ubican alejados de la diagonal son los que presentan duraciones de carrera mayores y la distancia relativa debe medirse en forma horizontal para que sea representativa de la duración de carrera.

INGENIERIA INDUSTRIAL																								
Cohorte	Egreso																				Ingresantes	Graduados	DURACIÓN (años)	Graduados/as por Cohorte
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021									
2003			2	1	1	1	4	1		1	1										35	13	9,1	37%
2004				1	2	6	7	1	2	2	1	1	2								56	26	8,8	45%
2005					3	7	7	5	3	5	3	1	1						1		59	36	8,3	61%
2006						3	6	3	8	5	1	2									43	28	7,5	65%
2007							2	7	2	2	4	1			3					2	45	23	8,4	51%
2008								9	2	3	3	1			1	1					51	22	6,8	39%
2009									7	4	3	4			2						60	20	7,7	33%
2010										2	6	12	5	3		1	1				60	30	6,4	50%
2011												1			8	9	4	3	3		63	29	7,3	44%
2012															1	2	8	4	2		69	17	6,4	25%
2013																	5	5	4	4	52	18	6,4	35%
2014																		10	8	2	78	20	5,7	26%
2015																			3	7	74	11	5,5	15%
2016																				1	107	15	5,0	11%
2017																				2	100	7	3,8	5%
2018																				1	108	1	4,0	1%
Personas Graduadas	2	6	3	10	17	27	28	19	33	30	25	34	27	26	36									

Figura 2 Mapa térmico referido a seguimiento de cohortes, con estadísticas de graduación y duración de carrera, para la carrera de Ingeniería Industrial. Fuente: elaboración propia en base a registros de la carrera.

El segundo parámetro de interés viene representado por la duración en años de la carrera, donde se visualiza en colores rojizos los tiempos mayores y en verde los tiempos cercanos a la duración teórica. El tercero y último parámetro de interés es porcentual de graduación de cada cohorte, donde podemos observar que las primeras cohortes de la carrera alcanzan a la fecha niveles de graduación de alrededor del 60%.

Análisis de los resultados

De forma consistente con las previsiones de los expertos de referencia, el nivel de deserción observado en la Facultad de Ingeniería (ciclo básico común a todas las carreras) está concentrado en los momentos previos al comienzo del segundo año de carrera, pero resulta preocupante que en la etapa de ingreso (RA8) se observa una retención de entre el 61% y 69%, y durante el cursado del primer cuatrimestre de la carrera se retiene un 65%, y en el segundo cuatrimestre un 78%. Esto permite calcular una retención de inscriptos de apenas entre 31% y 35% en el primer año de la carrera (Tablas 2 y 3), lo que resulta menor de lo esperable.

Para la carrera de Ingeniería Industrial, sin embargo, el indicador de retención durante el primer año se ubica en un nivel de aproximadamente 79% (Tabla 4), y aunque no se ha avanzado en la indagación sobre los motivos de la desviación, no se descartan cuestiones ambientales o regulatorias, por lo que podría atribuirse a factores intrínsecos de la población estudiada.

La retención global de estudiantes viene expresada como la proporción de estudiantes que se inscriben luego de un cuatrimestre determinado, para continuar con las actividades académicas en el siguiente cuatrimestre, sin que este factor implique una proporción de aprobación, ya que con los datos agregados disponibles no es posible determinarlo. De todos modos, la retención de estudiantes es un indicador que refiere a la capacidad del sistema de “no expulsar” a las personas, sino que habla de posibilidad de permanecer en actividad el tiempo necesario para completar los objetivos de formación buscados. Es necesario mencionar que el nivel de retención global de la carrera es derivado del cálculo de reinscripciones, y se observan tres momentos marcados en la evolución de la carrera donde este indicador varía en forma atípica.

En general el promedio de duración de la carrera ha ido descendiendo a lo largo del tiempo. Las primeras cohortes (2003-2007) que, si bien han alcanzado una tasa de egreso cercana al 60%, la duración media de carrera es de 8,5 años. Es posible asignar a la falta de realismo en la estimación de la duración teórica esta desviación, pero es necesario reconocer que en las primeras cohortes del plan, la incidencia de estudiantes que se cambiaron de carrera, desvirtúa la duración real ya que no puede ser atribuida con exclusividad al plan de Ingeniería Industrial.

Las cohortes del plan entre 2007 y 2011 tuvieron duración de carrera de 7 años en promedio, pero solamente han alcanzado tasas de graduación cercanas al 40%, por lo que es esperable que en los próximos años ambos indicadores se incrementen.

Finalmente, las cohortes del plan desde 2011 a 2022, apenas han conseguido una tasa del 25% de graduación, y el tiempo de duración de carrera es cercano al tiempo teórico, aunque aparece un efecto interesante en estos primeros graduados, que incluso muestran tiempos de graduación menor al teórico, y definitivamente eso puede atribuirse a la posibilidad de cursado simultáneo y con dedicación intensiva que durante el aislamiento de 2020 y 2021 propició un contexto inmejorable y difícilmente reproducible en tiempos de normalidad (Morcela, 2023).

4. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

A la luz de los indicadores aparecen algunos éxitos relativos y también se descubren algunos interrogantes que pueden delinear futuras vías de indagación. La evolución en los indicadores de retención es ciertamente preocupante por el bajo desempeño en los primeros años del tránsito por la vida universitaria. Se observan índices de deserción precoz y temprana que sumados superan el 50% de los aspirantes. Aunque los resultados para Ingeniería Industrial son mejores que la media de la Facultad, de todos modos, se observan dos cuestiones a tener en cuenta: la primera de ellas es la escasa disponibilidad de información estadística desagregada y de información cualitativa sobre los factores de deserción en los primeros años; y la segunda es ausencia de un mecanismo de alerta temprana y de soporte para la retención. Asimismo, se ha evaluado que la deserción tardía ronda el 30% de los estudiantes que comienzan cuarto año.

La duración real dista de la teórica para el plan estudiado. De todos modos este parámetro puede verse desvirtuado mediante la aplicación de programas de terminalidad, que recuperan estudiantes avanzados que llegan a la graduación luego de varios años de haber suspendido sus estudios. Este efecto deberá ser evaluado diferenciadamente para arribar a resultados libre de sesgo. Necesariamente, el estudio pormenorizado de los datos desagregados debe apuntar a la determinación de estrategias en base a evidencias, y no a la intuición del gestor de turno, y esto es un aspecto pendiente.

En el mismo orden de cosas, es posible que el abordaje de estas indagaciones pueda derivar en la implementación de programas de conocimiento (alerta temprana) y asesoramiento (tutorías), como

centro de la estrategia de retención en los primeros años de la carrera, que a la postre puede derivar en el mejoramiento de las tasas de graduación (intensificando las acciones de tutoría en los últimos años, en instancias de PPS y TF), con un claro impacto social, en el entorno socio productivo y el desarrollo territorial.

5. REFERENCIAS

- Aldave, D. y Farina, E. (2020). *Informe de continuidad pedagógica en tiempos de COVID-19. Derecho social a la educación y nuevas TIC*. Recuperado de <https://www.hamartia.com.ar/wp-content/uploads/2020/05/Analisis-de-resultados-FINAL.pdf>
- Del Río, L.; Knopoff, P.; Boero, E. y Ciliberti, L. (2020). *Innovación e improvisación en el marco de la pandemia de COVID-19: relato de una experiencia*. 3° Jornada sobre la Práctica Docente en la Universidad Pública. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/106460/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gago, M. P. (2020). Las condiciones de producción y de reconocimiento de la clase virtual en un contexto de pandemia. La clase asincrónica como posibilidad. *Interfaces online 2020*. Universidad de Palermo. https://fido.palermo.edu/servicios_dyc/interfacesonline/mi_experiencia.php?id_experience=970
- García, J. C., Gonzáles, M. y Zanfrillo, A. (2011). *Desgranamiento universitario: perspectiva estudiantil en ingeniería*. XI Coloquio Internacional de Gestión Universitaria de América del Sur. Universidad de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/106460/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Guzmán, R. R., Peña, R., & Aguilar, M. (2014). *Factores predisponentes de abandono en estudiantes de Medicina de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. IV Conferencia Latinoamericana sobre el Abandono en la Educación Superior (CLABES 2014), 121-132. Recuperado de <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/clabes/issue/view/66/66>
- Istvan R. (2022). *Deserción estudiantil en la UTN-FRLP. Detección temprana mediante un sistema software de gestión tutorial*. [Tesis Magíster, Universidad Nacional de La Plata]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de La Plata. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/148878/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Lattuada, M. (2017). Deserción y retención en las unidades académicas de educación superior. Una aproximación a las causas, instrumentos y estrategias que contribuyen a conocer y morigerar su impacto. *Debate Universitario*, 100-113. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/72118/CONICET_Digital_Nro.a82864a3-1e25-42a4-a4ef-209658b8812e_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Losio, M. S y Macri A. (2015). Deserción y Rezago en la Universidad. Indicadores para la Autoevaluación. *Revista Latinoamericana de Políticas y Administración de la Educación*, 2(3), 114-126. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/72118/CONICET_Digital_Nro.a82864a3-1e25-42a4-a4ef-209658b8812e_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Morcela, O. A. (2023). Continuidad pedagógica en las interfaces: un análisis de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional de Mar del Plata. *Revista Educación En Ingeniería*, 18(36). <https://educacioneningenieria.org/index.php/edi/article/view/1279>
- Scolari C. A. (2018). *Las leyes de la interfaz*. Editorial Gedisa. <http://public.ebib.com/choice/PublicFullRecord.aspx?p=6733682>
- Secretaría de Políticas Universitarias (SPU). *Sistema de consulta de estadísticas universitarias*.

<http://estadisticasuniversitarias.me.gov.ar/#/home>

- Tinto, V. (1989). Definir la deserción: una cuestión de perspectiva. *Revista de educación superior*, 71(18), 1-9.
- Tinto, V. (2006). Research and Practice of Student Retention: What Next? *Journal of College Student Retention: Research, Theory & Practice*, 8(1), 1-19. <https://doi.org/10.2190/4YNU-4TMB-22DJ-AN4W>
- Villanueva, E. F. (2004). Balance, perspectivas y propuestas para la educación superior. Hacia una nueva identidad universitaria. En Carlos Marqués (comp.), *La agenda universitaria: propuestas de políticas públicas para la Argentina. Colección de Educación Superior* (pp. 197-221). Universidad de Palermo.

Análisis ergonómico y estrategias para el cumplimiento de la NOM-036-1-STPS-2018 en tres áreas de producción y un área administrativa en una empresa metalmecánica agroindustrial mexicana.

Matamoros Sanchez, Diana

diana.matamoros@lagos.tecmm.edu.mx

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Jalisco José Mario Molina Pasquel y Henríquez - Unidad Académica Lagos de Moreno (México)

García Azpeitia, Lilia

lilia.garcia@lagos.tecmm.edu.mx

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Jalisco José Mario Molina Pasquel y Henríquez - Unidad Académica Lagos de Moreno (México)

Minero Ramales, María Guadalupe

guadalupe.minero@lagos.tecmm.edu.mx

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Jalisco José Mario Molina Pasquel y Henríquez - Unidad Académica Lagos de Moreno (México)

Contreras Cardona, Armando

lm18050289@lagos.tecmm.edu.mx

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Jalisco José Mario Molina Pasquel y Henríquez - Unidad Académica Lagos de Moreno (México)

Fecha de recepción RIII: 24/05/2024

Fecha de aprobación RIII: 27/10/2024

RESUMEN

El proyecto se realizó en empresa metalmecánica, que fabrica maquinaria agrícola, en Lagos de Moreno, Jalisco, México. Se realizó un análisis de riesgo ergonómico en las principales áreas de proceso en actividades que implican manejo manual de cargas: área de inyectoras, sopladoras y metales moldeables (ISMM), ensamble de maquinaria agrícola y refacciones (EMAR) y Herramientales (HE), y en área general administrativa (PCP). Se realizaron evaluaciones del nivel de riesgo disergonómico, de acuerdo con la NOM-036-STPS-2018 y soporte en los métodos MAC, RULA, ROSA. Se implementaron algunas estrategias para disminuir el nivel de riesgo, se generaron estándares de trabajo para el manejo manual de cargas, se elaboró el programa de ergonomía de acuerdo con la norma oficial mexicana, de carácter obligatorio. Se realizó una simulación en software PROMODEL, de las mejoras planeadas para implementarse posteriormente. Finalmente disminuyó el nivel de riesgo disergonómico en 18 % en los puestos de trabajo con mayor nivel en el diagnóstico.

Palabras Claves: Ergonomía; agroindustria; evaluación de riesgos; cumplimiento de norma mexicana

Ergonomic analysis and strategies for compliance with NOM-036-1-STPS-2018 in three production areas and an administrative area in a Mexican agroindustrial metalworking company.

ABSTRACT

The project was carried out in a metalworking company, which manufactures agricultural machinery, in Lagos de Moreno, Jalisco, Mexico. An ergonomic risk analysis was carried out in the main process areas in activities that involve manual handling of loads: area of injectors, blowers, and moldable metals (ISMM), assembly of agricultural machinery and spare parts (EMAR) and Tooling (HE), and in general administrative area (PCP). Evaluations of the level of dysergonomic risk were carried out, in accordance with NOM-036-STPS-2018 and support in the MAC, RULA, ROSA methods. Some strategies were implemented to reduce the level of risk, work standards were generated for the manual handling of loads, the ergonomics program was developed in accordance with the official Mexican standard, which is mandatory. A simulation was carried out in PROMODEL software, of the improvements planned to be implemented later. Finally, the level of dysergonomic risk decreased by 18% in the jobs with the highest level of diagnosis.

Keywords: Ergonomics; agroindustry; risk assessment; compliance with Mexican standards.

Análise ergonômica e estratégias para cumprimento da NOM-036-1-STPS-2018 em três áreas de produção e uma área administrativa em uma empresa metalmeccânica agroindustrial mexicana

RESUMO

O projeto foi realizado em uma empresa metalmeccânica, fabricante de máquinas agrícolas, em Lagos de Moreno, Jalisco, México. Foi realizada análise de risco ergonômico nas principais áreas de processo em atividades que envolvem movimentação manual de cargas: área de injetoras, sopradoras e metais moldáveis (ISMM), montagem de máquinas agrícolas e peças de reposição (EMAR) e Ferramentaria (HE), e na área administrativa geral (PCP). Foram realizadas avaliações do nível de risco disergonômico, conforme NOM-036-STPS-2018 e respaldo nos métodos MAC, RULA, ROSA. Foram implementadas algumas estratégias para reduzir o nível de risco, foram geradas normas de trabalho para movimentação manual de cargas, desenvolvido o programa de ergonomia de acordo com a norma oficial mexicana, que é obrigatória. Foi realizada uma simulação no software PROMODEL, das melhorias previstas para serem implementadas posteriormente. Por fim, o nível de risco disergonômico diminuiu 18% nos empregos com maior nível de diagnóstico.

Palavras chave: Ergonomia; agroindústria; avaliação de risco; conformidade com os padrões mexicanos.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo está enfocado a la ergonomía, la cual es el conjunto de técnicas cuyo objetivo es la adecuación entre el trabajo y la persona; la ergonomía se enriquece con la adopción del entorno físico (Cruz, 2010). Al analizar las herramientas, tareas y modos de producción que se relacionan a una determinada actividad laboral, se puede contribuir para la prevención de accidentes y lesiones, además de que se aumenta la satisfacción con el trabajo, aumenta la productividad y consigue beneficios económicos (Gómez et al., 2002).

Actualmente existen varios métodos o herramientas disponibles para evaluar la exposición de factores de riesgo relacionados con los trastornos musculoesqueléticos (TME) o identificar trabajos potencialmente riesgosos o factores de riesgo en el trabajo. Estos se pueden agrupar en observacionales simples o avanzados, de medición directa o instrumental y de auto reporte. Los observacionales simples son de uso práctico en una amplia gama de puestos de trabajo, como principales desventajas se pueden mencionar que el sistema de puntuación es principalmente hipotético, se requiere de conocimientos y experiencia por parte del observador y el sesgo de este cuando realiza la evaluación. Entre los métodos y/o herramientas se encuentran: Ovako Working Posture Analyzing System (OWAS), Rapid Upper Limb Assessment (RULA), Occupational Repetitive Actions (OCRA), Rapid Entire Body Assessment (REBA), Quick Exposure Check (QEC), Ecuación de NIOSH, Strain Index (SI), entre otros, se agrupan según esta clasificación, (Zegarra, 2012). Los observacionales avanzados permiten analizar varios segmentos corporales y articulaciones al mismo tiempo, son adecuados para el análisis de tareas simuladas y pueden ser medidas una serie de variables como distancia del movimiento, cambios angulares, aceleraciones y velocidades (Rodríguez et al., 2010).

El cuestionario Rapid Upper Limb Assessment (RULA) fue desarrollado con el objeto de evaluar la exposición de trabajadores a factores de riesgo (biomecánico) que originan una elevada carga postural estática en donde se considera la peor postura adoptada en el lugar de trabajo que puede ocasionar trastornos en algunos segmentos corporales y también evalúa la adopción continuada o repetida de posturas penosas durante el trabajo genera fatiga y a la larga puede ocasionar trastornos en el sistema musculoesquelético (Zegarra, 2012; Dimate, 2017). El método Evaluación de Riesgo Individual (ERIN) evalúa la postura de las cuatro regiones corporales (Tronco, Brazo, Muñeca y Cuello) y la interacción de éstas con su frecuencia de movimiento. Se evalúa el ritmo de trabajo, que está dado por la interacción entre la velocidad de trabajo y la duración efectiva de la tarea; el esfuerzo, resultado de la interacción del esfuerzo percibido por el evaluador y su frecuencia y la autovaloración, en la cual se le pregunta al sujeto su percepción sobre la tarea que realiza (Rodríguez et al., 2011). El método Rapid Entire Body Assessment (REBA) es una nueva herramienta para analizar posturas, es de reciente aparición y está en fase de validación, aunque la fiabilidad de la codificación de las partes del cuerpo es alta (Zegarra, 2012). El National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) desarrolló en 1981 una ecuación para evaluar el manejo de cargas en el trabajo. Su intención era crear una herramienta para poder identificar los riesgos de lumbalgias asociados a la carga física a la que estaba sometido el trabajador y recomendar un límite de peso adecuado para cada tarea en cuestión; de manera que un determinado porcentaje de la población -a fijar por el usuario de la ecuación- pudiera realizar la tarea sin riesgo elevado de desarrollar lumbalgias (Cuixart, 1998). Por otra parte el método Risk Assessment of Pushing and Pulling (RAPP), presenta la posibilidad de evaluar tareas que involucren empuje y/o tracción para cargas con equipos con ruedas y cargas sin ruedas, según tipo de equipo y actividad desarrollada (Maldonado, 2020).

Método Manual Handling Assessment Charts (MAC) basado en estudios biomecánicos, psicofísicos y factores del entorno físico que utiliza una escala cuantitativa para medir el riesgo y un código de colores para calificar cada factor. Permite la evaluación de tarea de levantamiento y descenso de cargas

ejecutadas por una sola persona, la evaluación de tareas de transporte (caminar con carga) y evaluación de tareas de levantamiento y descenso de carga ejecutadas por un equipo (más de una persona) (Morales, 2019).

El método ROSA (Rapid Office Strain Assessment) es una metodología enfocada únicamente al trabajo administrativo o de oficina, calcula la desviación existente entre las características del puesto a evaluar y las de un puesto de oficina de características ideales. Para ello se emplean diagramas de puntuación que asignan una puntuación a cada uno de los elementos del puesto: silla, pantalla, teclado, ratón y teléfono (Estrada, 2022).

Cuestionario Nórdico de Kuorinka. Este cuestionario recopila información sobre sintomatología musculoesquelética como: dolor, fatiga o disconfort en distintas zonas corporales; estudia 9 regiones anatómicas del cuerpo que son cuello, hombro, columna dorsal, columna lumbar, cadera, codo, mano/muñeca, rodilla, tobillo/pie con fines epidemiológicos, más no clínicos; comprende de 2 secciones, la primera se aplica un cuestionario general para identificar las áreas del cuerpo presenten molestias en función del tiempo (en los últimos 7 días, 12 meses, etc), en la segunda sección se describen preguntas adicionales, relacionadas con atención médica, rehabilitación, ausentismo en su trabajo y medicación tomada para controlar los síntomas musculoesqueléticos (Morales, 2019).

Además de lo anterior, de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, los trastornos musculoesqueléticos (TME) incluyen más de 50 trastornos que afectan el sistema locomotor, cuya afectación puede incluir trastornos repentinos y de corta duración hasta incapacidades permanentes (Salud, 2021). Los trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo (WMSD) se encuentran entre los trastornos más comunes en cualquier sector laboral e industria (Yunus et al., 2021).

En México se encuentra vigente la norma oficial mexicana 036-STPS para la identificación, análisis, prevención y control de los factores de riesgo ergonómico, esto es, aquellos provocados por tareas de levantamiento y transporte manual de cargas, la cual es de carácter obligatorio para las empresas. De acuerdo con las actividades y procesos realizados de manera manual en la empresa del giro agroindustrial y los trastornos musculoesqueléticos de los trabajadores fue necesario determinar el nivel de riesgo ergonómico con fundamento en la norma oficial mexicana de la secretaría de trabajo y previsión social. (NOM-036-STPS, 2018).

2. MÉTODO

2.1 Diagnóstico de los puestos de trabajo.

La empresa en estudio es una empresa 100% mexicana que cuenta con 60 años de trayectoria, del giro de manufactura, dedicada a la fabricación de maquinaria agrícola y refacciones, que cuenta con distintas líneas de producción de ensamble de maquinaria agrícola y aspersores.

El diagnóstico se realizó en cuatro áreas de producción: 1) En el área de inyectoras, sopladoras y metales moldeables (ISMM); 2) Área de ensamble de maquinaria agrícola y refacciones (EMAR); 3) Área de herramientas (HE) en la que se desarrollan actividades de mantenimiento tanto preventivas como correctivas de maquinaria; 4) Finalmente, en el área de plan de control de producción administrativo (PCP) se desarrollan actividades administrativas de la organización lo cual son los encargados de administrar los recursos operacionales de la empresa, y así mismo se realizan las impresiones de las etiquetas.

Para conocer el nivel de riesgos de los puestos de trabajo se consideraron estudios previos (no reportados en este artículo) del departamento de seguridad del trabajo y se realizó un recorrido en las instalaciones de la empresa para conocer cada una de las áreas antes mencionadas para la identificación de los puestos de trabajo en los cuales se realizan actividades que implican levantamiento de cargas manuales para ser evaluadas.

2.2 Identificación de los factores de riesgo ergonómico asociados a cada una de las actividades que desarrollan los operadores en las áreas.

Para la identificación de los factores de los riesgos ergonómicos presentes en las áreas ISMM, HE, EMAR, PCP se realizaron cuatro fases: 1) La identificación de la actividad, tarea o puesto de trabajo que conllevan manejo manual de cargas: levantar, bajar, empujar, jalar, transportar y/o estibar materiales; 2) la descripción de las actividades; 3) los trabajadores involucrados en la realización de estas actividades (personal ocupacionalmente expuesto); y 4) la frecuencia con que se realiza la actividad y duración de las mismas y finalmente llevar el registro. Se realizó una recolecta de datos en los puestos de trabajo con mayor riesgo ergonómico en las áreas de ISMM, HE, EMAR, PCP mediante datos personales de los trabajadores, y datos establecidos por la NOM-036-1-STPS-2018: edad, peso de carga, distancia recorrida, nombre del puesto de trabajo, con el objetivo de realizar las evaluaciones ergonómicas correspondientes.

Una vez cumplido con la información anterior se realizó la evaluación mediante los métodos ergonómicos establecidos por la NOM-036-1-STPS y la identificación de los factores de riesgo asociados a cada puesto de trabajo. Se aplicó el método MAC en todos los puestos donde se desarrollan levantamiento, transporte y descenso de cargas y donde los pesos manipulados varían significativamente y hay al menos una diferencia de 2 kg entre las cargas movilizadas y las tareas que se llevan a cabo regularmente tienen una frecuencia de al menos una vez a la semana y posteriormente se evaluaron ocho factores de riesgo ergonómicos como: 1) peso y ascenso de la carga/frecuencia de transporte, 2) distancia horizontal de las manos desde la parte inferior de la espalda, 3) región de levantamiento vertical, 4) torsión y flexión lateral del torso /carga asimétrica sobre el torso (transporte), 5) restricciones posturales incómodas, forzadas o restringidas; 6) el acoplamiento mano-carga como elementos de sujeción; la superficie de trabajo y 7) otros factores ambientales. Se obtuvo el puntaje (de acuerdo con la NOM 036) y se determinó el nivel de riesgo como bajo (aceptable), medio (posible), alto (significativo) y muy alto (inaceptable).

Posteriormente se evaluaron las actividades que no implicaban levantamiento de cargas por el método RULA, los aspectos a tomar en cuenta se clasificaron en dos grupos: grupo A con puntuación del brazo, puntuación del antebrazo y puntuación de la muñeca y grupo B con puntuación del tronco, puntuación del cuello y puntuación de las piernas. Se determinó el nivel de riesgo considerando cuatro niveles de acuerdo con la puntuación, la menor de 1-2 y la mayor de 7 (McAtamney y Corlett, 1993).

Para la evaluación en el área de PCP se aplicó el método ROSA, se consideraron dos puestos de trabajo (plan de control de producción y centro de etiquetado), con seis criterios a evaluar (reposabrazos más respaldo, altura de asiento más profundidad del asiento, puntuación de pantalla, de teléfono, de teclado y de mouse. Finalmente se determinó el nivel de riesgo con valores de 0 para un riesgo inapreciable que no necesita actuación hasta un valor de 4 para un riesgo extremo para el cual es necesaria la actuación urgente.

Tabla 1. Puestos de trabajo de riesgo considerable en las áreas y método de evaluación.

Área	Actividades del puesto de trabajo	Método ergonómico
ISMM		MAC/RAPP
	Transporte de Material. Transporte de rebaba de tanque soplado. Empaque de aspersora pacto. Transporte de aspersora pacto. Empaque de aspersora 425.	
		RULA
	Rebabeo de tanque soplado. Rababeo de maneral de aspersora	
EMAR		MAC/RAPP
	Transporte de piezas de piezas de aguilón Carga de material para su transporte Colocación de rotor de molino Empaque de aguilón Transporte de aro formado	
HE		MAC/RAPP
	Transporte de pieza con eleva cargas.	
		RULA
	Mantenimiento preventivo a molde. Limpieza a molde. Torneado de piezas	
PCP		ROSA
	Plan de control de producción. Centro de etiquetado	

2.3 Determinación de las cargas de trabajo en las actividades de las áreas con mayor criticidad.

Una vez obtenidos los resultados de las evaluaciones se determinaron las cargas de trabajo para cada uno de los puestos con mayor criticidad, tomando en cuenta los aspectos más importantes tales como, peso de la carga, frecuencia, edad y sexo del trabajador que manipulara la carga, tipo de carga. Se consideró como características de la carga: 1) El peso máximo de las operaciones de levantamiento dependiendo el género según lo establecido por la NOM-036-1-stps-2018. 2) El volumen de la carga o la dificultad de manejarla. 3) El proceso de manipulación manual adecuado a las personas con las características físicas requeridas por el puesto. 4) La consistencia de la carga. 5) El acomodo de la carga. Respecto al Esfuerzo físico, se consideró: 1. Si es demasiado intenso y 2. Movimientos que debe realizar. En la exigencia de la carga: se tomaron en cuenta 1. Los esfuerzos físicos frecuentes o prolongados en los que intervengan la columna vertebral y 2. La insuficiencia o inadaptación de los conocimientos o formación. Finalmente, para el medio de trabajo, se consideró 1. La superficie de trabajo y obstáculos en la ruta.

Posteriormente, como lo indica la NOM-036 STPS, se aplicó el cuestionario nórdico de Kuorinka lo cual es la herramienta que se utilizara para detectar la existencia de síntomas iniciales que todavía no se han constituido como una enfermedad y ayuda para recopilar información sobre dolor, fatiga o molestias corporales, de acuerdo con lo establecido por la norma, se aplicó un cuestionario por cada 10 trabajadores que se encuentren en el área.

2.4 Implementación de estrategias de mejora y simulación, para la prevención de riesgos ergonómicos en los puestos de trabajo

Para estructurar las propuestas de intervención se realizó una evaluación del contexto del puesto de trabajo, se determinó la viabilidad de la implementación de las propuestas, se estableció el objetivo, se definió la metodología a utilizar y las actividades necesarias para su cumplimiento.

Una vez estructuradas las propuestas de intervención se realizó el modelado de la mejora utilizando SetPose-3D drawing Model y la simulación mediante la utilización del programa ProModel 2016 (9.3.0.2051). Se consideraron como variables: locaciones, entidades, procesamiento y llegadas.

Se realizó material para la capacitación de personal involucrado en el manejo manual de cargas con la finalidad de prevenir lesiones musculo esqueléticas por el manejo manual de cargas, se consideraron de acuerdo con la normatividad de la Secretaria del Trabajo y Previsión Social (STPS): los efectos a la salud que puede ocasionar la exposición a los factores de riesgo ergonómico debido al manejo manual de cargas; la forma de reconocer factores de riesgo ergonómico por el manejo manual de cargas, así como riesgos adicionales presentes en el lugar de trabajo; el contenido de la presente norma, con énfasis en la aplicación de las medidas de seguridad, y en su caso, medidas de control derivadas del análisis de los factores de riesgo ergonómico originados por el manejo manual de cargas y la manera de realizar sus actividades en forma segura, a través de los procedimientos de seguridad y/o prácticas seguras.

2.5 Análisis estadístico

El aspecto para realizar el análisis fue el nivel de riesgo de una de las actividades de mayor riesgo, antes y después de la capacitación, se realizó el análisis estadístico en el área de AMAR analizando el puesto de trabajo de empaque de aguilón, se aplicó una prueba de hipótesis, siendo la variable dependiente el nivel de riesgo y la variable independiente la capacitación, con un nivel de confianza del 90%. Prueba de hipótesis: $H_0: \mu_1 = \mu_2$ y $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$, donde μ_1 es el riesgo promedio antes del estándar y μ_2 es el riesgo promedio después del estándar.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.1 Diagnóstico de los puestos de trabajo.

En las cuatro áreas evaluadas se tienen diferentes puestos de trabajo de acuerdo con las actividades realizadas 1) En ISMM se desarrollan actividades de inyección y soplado de plástico las cuales producen diferentes piezas que son utilizadas para la producción de aspersores (tubo inyectado, cámaras de presión, pistones), se inyectan y soplan los tanques de aspersores de distintos modelos y capacidades. Esta área cuenta con 10 puestos de trabajo y un total de 72 trabajadores divididos en los tres turnos. 2) Dentro del área EMAR se realizan actividades de producción para el armado y ensamble de maquinaria agrícola tales como aguilones de distintos modelos, molinos, aspersores de turbina, aros para rastrillos entre otra maquinaria de su catálogo. Esta área está conformada por seis puestos de trabajo y un total de 32 trabajadores los cuales son los encargados de desarrollar las actividades del área. 3) En el área de herramientas (HE), se desarrollan actividades de mantenimiento tanto preventivas como correctivas de maquinaria. Dicha área está distribuida por mesa de ensamble, perchero para eslingas, tratamiento

térmico, cepillos verticales, tornos, etc. Esta área cuenta con 11 matriceros, 2 en tornos y control numérico por computadora, 5 técnicos, 1 Materialista, 1 encargado en maquinaria y un supervisor sumando un total de 21 trabajadores en el área. 4) Finalmente, en el área PCP se desarrollan actividades administrativas de la organización lo cual son los encargados de administrar los recursos operacionales de la empresa, y así mismo se realizan las impresiones de las etiquetas.

En ISMM de los cinco puestos evaluados, el de mayor riesgo fue el transporte de rebaba de tanque soplado con un valor de 17.

Tabla 2. Resultados de evaluación de riesgos ISMM. B. Evaluación de nivel de riesgo de rebabeo de tanque soplado

a. Evaluación de riesgos en ISMM	
Nombre del puesto de trabajo	Puntuación
Transporte de rebaba de tanque soplado.	17
Empaque de aspersora pacto.	16
Transporte de aspersora pacto.	16
Transporte de material.	15
Empaque de aspersora 425.	11
RULA	
Rebabeo de tanque soplado.	Se requieren cambios urgentes en la tarea
Rababeo de maneral de aspersora.	Se requieren cambios urgentes en la tarea
b. Evaluación de nivel de riesgo de rebabeo de tanque soplado	
Factores de riesgo	Evaluación
	Nivel de riesgo
Peso de la carga	0
Postura	3
Acoplamiento mano-carga	2
Patrón de trabajo	3
Distancia por viaje	3
Condición del equipo auxiliar	2
Superficie de trabajo	1
Obstáculos a lo largo de la ruta	2
Otros factores	1
Puntuación	17

ISMM			
INMEDIAS, SOPLADORAS Y METALES MOLDEABLES			
TIPO DE EVALUACIÓN NOM-036-1-STPS-2018	Evaluación del riesgo de actividades que impliquen empujar o jalar cargas con uso de equipo auxiliar.		
Nombre del trabajador:	Jaime Rodríguez Aguilera	Edad:	52 años
Descripción de la operación.			
Nombre de la operación: Transporte de Rebaba de tanque soplado			
Peso: 390 kilos.	El operador mueve carga con ayuda de equipo auxiliar (Jaula con ruedas) con un peso de 60 kilogramos el cual transporta a 138 kilos de material a una distancia de 35 metros a área de herramientas.		
PISO DE CARGA			
Aspecto a evaluar	Ilustración	Calificación	Puntuación
Peso : 138 kilos		Bajo	0
EVALUACIÓN DE LA POSTURA			
Descripción	Ilustración	Calificación	Puntuación
El cuerpo está inclinado en la dirección del esfuerzo para jalar la carga. El torso está visiblemente flexionado. Las manos están por debajo de la altura de la cadera.		Razonable	3
ACOMODAMIENTO DE LA MANO A LA CARGA			
Descripción	Ilustración	Calificación	Puntuación
El equipo auxiliar (patín hidráulico) tiene manijas lo cual que permiten un cómodo agarre para aplicar fuerza para jalar y tiene un agarre completo de la mano para para realizar la operación.			2
PATRÓN DE TRABAJO			
Descripción	Calificación	Puntuación	
El trabajo es repetitivo debido a que son constantes los transportes de material sobrante (rebaba) debido a la operación de 5 máquinas (KA-01, KA-02, KA-03, Fisher 7 entre otras.) regularmente el cual el operador desempeña en el área (ISMM), incluso realiza transporte de material de otras áreas como (EAR) y no tiene descansos formales u oportunidad de rotar los puestos de trabajo.	Pobre o deficiente	3	
DISTANCIA POR VIAJE			
Descripción	Calificación	Puntuación	
La distancia en promedio por viaje es de 32m debido a que la operación es muy repetitiva durante la jornada de trabajo.	Larga	3	

Figura 1. Evaluación de riesgos de actividades que impliquen empujar o jalar

CONDICIÓN DE EQUIPO AUXILIAR			
Descripción	Ilustración	Calificación	Puntuación
<p>El mantenimiento ocurre sólo cuando surgen problemas. Los principales problemas que se presentan son la falta de aceite hidráulico daño en los ejes y desgaste de llantas. La presencia de estos problemas por lo regular son en un periodo de cada 30 días.</p>		Razonable	2
SUPERFICIE DE TRABAJO			
Descripción	Ilustración	Calificación	Puntuación
<p>En mayor parte del trayecto las superficies son secas y limpias sin embargo en algunas de las áreas hay escombros.</p>		Razonable	1
OBSTÁCULOS AL LARGO DE LA RUTA			
Descripción	Ilustración	Calificación	Puntuación
<p>Dentro del área ISMM se encuentra una rampa empinada por la cual se transporta el material.</p>		Razonable	2
OTROS FACTORES			
Otros Factores			Presentes
<p>El equipo auxiliar o la carga son inestable.</p>			
<p>La carga es grande y obstruye la vista del trabajador de donde se está moviendo;</p>			X
			
<p>El equipo auxiliar o la carga presenta bordes filosos, está caliente o es potencialmente dañina al tacto</p>			
<p>Hay malas condiciones de iluminación</p>			
<p>Hay temperaturas extremas calientes o frías o alta humedad</p>			
<p>Hay ráfagas de viento u otros movimientos fuertes del aire</p>			
<p>El equipo de protección personal o la vestimenta hacen que el uso del equipo sea complicado</p>			

Figura 2. Evaluación del nivel de riesgo de transporte de rebaba de tanque soplado.

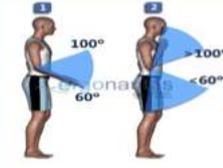
Nombre de la Operación:		Rebabeo de tanque soplado	
Área:		ISMM	
EVALUACIÓN GRUPO A			
Puntuación del brazo			
Posición	Puntuación	Ilustración	 <p>Figura 3 Medición del ángulo del brazo.</p>
Desde 20° de extensión a 20° de flexión	1		
Extensión >20° o flexión >20° y <45°	2		
Flexión >45° y 90°	3		
Flexión >90°	4		
Modificación del brazo			
posición	Puntuación	Ilustración	 <p>Figura 4 Modificación de la puntuación del brazo.</p>
Hombro elevado o brazo rotado	1		
Brazos abducidos	1		
Existe un punto de apoyo	-1		
Puntuación del antebrazo			
Posición	Puntuación	Ilustración	
Flexión entre 60° y 100°	1		
Flexión <60° o >100°	2		
Modificación de la puntuación del antebrazo			
Posición	Puntuación	Ilustración	 <p>Figura 6. Modificación de la puntuación del antebrazo.</p>
A un lado del cuerpo	1		
Cruza la línea media	1		

Figura 3. Evaluación de actividades en tanque de soplado

EVALUACIÓN GRUPO B		
Puntuación Cuello		
Posición	Puntuación	Ilustración
Flexión entre 0° y 10°	1	
Flexión >10° y ≤20°	2	
Flexión >20°	3	
Extensión en cualquier grado	4	
Modificación de la puntuación del cuello		
Posición	Puntuación	Ilustración
Cabeza rotada	1	
Cabeza con inclinación lateral	1	
Puntuación del tronco		
Posición	Puntuación	Ilustración
Sentado, bien apoyado y con un ángulo tronco-caderas >90°	1	
Flexión entre 0° y 20°	2	
Flexión >20° y ≤60°	3	
Flexión >60°	4	

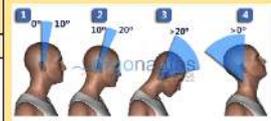


Figura 10: Medición del ángulo del cuello.



Figura 11: Modificación de la puntuación del cuello.



Figura 12: Medición del ángulo del tronco.

Figura 4. Riesgo de trabajo en rebabeo

Brazo	Antebrazo	Muñeca							
		1		2		3		4	
		Giro de Muñeca							
1	1	1	2	2	2	2	3	3	3
	2	2	2	2	2	3	3	3	3
	3	2	3	3	3	3	3	4	4
2	1	2	3	3	3	3	4	4	4
	2	3	3	3	3	3	4	4	4
	3	3	4	4	4	4	4	5	5
3	1	3	3	4	4	4	4	5	5
	2	3	4	4	4	4	4	5	5
	3	4	4	4	4	4	5	5	5
4	1	4	4	4	4	4	5	5	5
	2	4	4	4	4	4	5	5	5
	3	4	4	4	5	5	5	6	6
5	1	5	5	5	5	5	6	6	7
	2	5	6	6	6	6	7	7	7
	3	6	6	6	7	7	7	7	8
6	1	7	7	7	7	7	8	8	9
	2	8	8	8	8	8	9	9	9
	3	9	9	9	9	9	9	9	9

Puntuación del Grupo A.

Figura 5. Puntuación de análisis en muñeca

Tronco												
	1		2		3		4		5		6	
	Piernas		Piernas		Piernas		Piernas		Piernas		Piernas	
Cuello	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	3	2	3	3	4	5	5	6	6	7	7
2	2	3	2	3	4	5	5	5	6	7	7	7
3	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	7
4	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	8	8
5	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8
6	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9

Puntuación del Grupo B.

Figura 6. Puntuación de análisis en tronco

En el área de ensamble de maquinaria agrícola y refacciones EMAR, dirigida principalmente a actividades que implican manejo manual de cargas el cual los resultados obtenidos mostraron que los puestos de trabajo de mayor riesgo fueron empaque de aguilón económico y el de carga de material, ambos con una puntuación de 19.

Dentro del área de herramientas HE, se obtuvo un nivel de riesgo de entre 6 y 9, con el mayor puntaje (9) para transporte con eleva de cargas.

Dentro del área de herramientas la actividad con mayor nivel de riesgo es en la realización de mantenimiento preventivo evaluada con el método RULA con una puntuación de 7 el cual requiere cambios urgentes en la tarea para la disminución del riesgo dentro de este puesto de trabajo, con valores de 3 para postura y patrón de trabajo. En los puestos de trabajo evaluados con RULA, los de puntaje 7 fueron: torneado de piezas y mantenimiento preventivo al molde y limpieza de molde, se requieren cambios urgentes en la tarea.

Finalmente, en la evaluación de PCP, los puestos de mayor riesgo fueron el cuatro y cinco, con un puntaje de 8, lo cual indica que es necesaria la actuación cuanto antes según los criterios evaluados como puntuación de pantalla y periféricos y para sillas.

3.2 Identificación de los factores de riesgo ergonómico asociados a cada una de las actividades que desarrollan los operadores en las áreas.

De acuerdo con los resultados obtenidos en los diferentes puestos de trabajo que fueron expuestos con anterioridad se lograron identificar los diferentes riesgos ergonómicos los cuales están dados por postura y repetitividad (posturas forzadas de algún segmento corporal como el cuello, el tronco, los brazos, las manos/muñecas o los pies de manera repetida o prolongada; movimientos repetitivos de los brazos y/o de las manos/muñecas; postura de pie prolongada y postura de pie con las rodillas flexionadas o en cuclillas de manera repetida). Y por fuerza (debido a que se realizan empujes o arrastres de cargas elevadas (carros, bastidores, etc.); y se realizan fuerzas elevadas (aparte de las manipulaciones de cargas) con los dedos, las manos, los brazos, el tronco, las piernas o los pies).

3.3 Determinación de las cargas de trabajo en las actividades de las áreas con mayor criticidad.

De acuerdo con lo establecido en la NOM-036-1-STPS-2018 se determinaron las cargas de trabajo que los operadores tienen permitido realizar en la jornada laboral de acuerdo con su edad y peso de la carga dentro de los puestos de trabajo evaluados. En el área de ISMM la edad de los ocho trabajadores hombres, fluctúa entre 18 y 40 años, sin embargo, el peso permitido de acuerdo con la norma es de 25 máximo. En EMAR se tienen seis trabajadores de los cuales una es mujer, para los hombres cuya edad esta entre 23-52 años, el peso permitido es de 25 mientras que para la mujer es de 20.

Dentro del área de herramientas la determinación de cargas no se realizó debido al peso excesivo que manejan dentro del área es necesario el uso de equipo auxiliar y en el área de PCP administrativo no se realizan levantamiento y descenso de cargas.

Como resultados del cuestionario nórdico de Kuorinka: Dentro Ensamble de maquinaria agrícola y refacciones cuenta con un total de 32 empleados que desempeñan distintas actividades que implican levantamiento manual de cargas. La primera pregunta que se les realizó a los empleados fue si presentaban dolores musculo esqueléticos y las regiones en las que presentan dichas molestias musculares, las principales molestias que presentan son en el cuello, espalda zona lumbar, antebrazo con un porcentaje del 100% y posteriormente las demás partes del cuerpo sin embargo donde presentan menor molestia son en los pies y codos con un porcentaje del 33.33%.

En el área de EMAR donde se observa la presencia de molestias musculo esqueléticas fue del 100 % en hombros, espalda, antebrazo y las menores molestias se presentaron en codo y en los pies, con un porcentaje de afectación del 30%. La siguiente pregunta que se aplicó fue si han cambiado de puesto de trabajo a causa de la presencia de molestias musculares donde el resultado obtenido fue que el 100% en su mayoría no ha cambiado de puesto de trabajo, sin embargo, un trabajador tuvo que cambiar de puesto de trabajo representando el 33.3% en molestias en la mano y muñeca. Los empleados han presentado dolores musculares en los últimos 12 meses en las diferentes zonas del cuerpo teniendo como las más potenciales en el hombro, espalda (zona lumbar y zona dorsal) con un 100% y el 60% de los trabajadores respondió que si ha tenido molestias en mano-muñeca y otras partes superiores del cuerpo como pierna y rodilla. Estos episodios con molestia en los últimos 12 meses han tenido un periodo de duración de entre 1-24 h; sin embargo, dichas molestias y el tiempo de duración de estas nunca han tenido que impedir su trabajo según los resultados obtenidos el 100% de los trabajadores han podido realizar sus actividades durante la jornada laboral. Así mismo de acuerdo con la pregunta "si han presentado molestias en los últimos 7 días" las respuestas fueron sí en la mayor parte del cuerpo con un porcentaje mayor al 50% y en la parte del codo y antebrazo no han presentado molestias. Dentro del área de ISMM y HE las cuales son áreas donde realizan manejo manual de cargas no se realizaron dichos cuestionarios debido a que no presentan dolores en la espalda zona lumbar y zona dorsal, y de acuerdo con lo establecido por la NOM-036-STPS-2018 si no presentan molestias en dichas zonas no es necesario aplicar dicho cuestionario.

Se realizó el diagrama de Ishikawa para determinar las posibles causas de las lesiones musculoesqueléticas (Véase Figura 7).



Figura 7. Diagrama de Ishikawa de los trastornos musculoesqueléticos

De acuerdo con los resultados obtenidos se realizó un plan de estrategias a seguir con propuestas de intervención. Se realizó una presentación ejecutiva con el gerente de fábrica, director de operaciones, médico de la planta, supervisor de ensamble de aspersores y al personal con la finalidad de dar a conocer el nivel de riesgo de las actividades que desarrollan en cada una de sus áreas respectivamente y de esta manera exponerles las causas y la solución recomendada mediante las propuestas de intervención, en las áreas de mayor riesgo (véase Tabla 3)

Tabla 3. Propuestas de intervención EMAR e ISMM

Puesto de trabajo	Propuestas de intervención
EMAR	
Empaque de aguilón	1.1 Realizar capacitación sobre el manejo correcto de la carga en equipo para reducir el riesgo de presentar lesiones músculo esqueléticas.
	1.2 Ayudas visuales de la manera correcta de levantamiento y transporte de la carga.
	1.3 Diseñar un sistema de agarre seguro para la carga de aguilón.
Transporte de piezas de aguilón	1.1 Realizar mantenimiento preventivo cada 2 semanas al patín hidráulico para prevenir averías en el equipo.
	1.2 Realizar capacitaciones sobre el manejo correcto del equipo para reducir el riesgo de presentar lesiones músculo esqueléticas.

Puesto de trabajo	Propuestas de intervención
Colocación de rotor en molino.	1.1 Realizar capacitación sobre el manejo correcto de la carga en equipo para reducir el riesgo de presentar lesiones musculo esqueléticas.
ISMM	
Transporte de rebaba de tanque soplado	1.1 Colocarle un sistema de agarre a las jaulas para que permita un mejor manejo de estas.
	1.2 Realizar mantenimiento preventivo cada 2 semanas a las jaulas con ruedas para prevenir averías.
	1.3 Realizar capacitaciones sobre el manejo correcto del equipo para reducir el riesgo de presentar lesiones musculo esqueléticas.
Empaque de aspersora pacto	1.1 Realizar mantenimiento preventivo a las máquinas para evitar el derrame de líquidos en las zonas del área.
	1.2 Dar cumplimiento y seguimiento al programa 5's para mantener el orden y limpieza del área.
Rebabeo de tanque	1.1 Ajustar la altura de la mesa.
	1.2 Comprar un afilador eléctrico para cuchillos.
	1.3 ajustar la temperatura de la máquina y colocar soportes para sostener el aspersor.

3.4 Implementación de estrategias de mejora y simulación, para la prevención de riesgos ergonómicos en los puestos de trabajo

Una vez expuesto lo anterior ante la organización se llevó a cabo la simulación de uno de los puestos de trabajo más críticos dentro del área de ISMM, con la finalidad de demostrar el impacto que tendría dicha implementación para ello se eligió el puesto de trabajo "rebabeo de tanque soplado" con un nivel de riesgo de 7, el cual requiere cambios urgentes en la tarea. En el modelo actual el operador adopta posturas incómodas tales como, el tronco >60 grados, el brazo lo estira hasta abrazar la aspersora para sostenerla para poder realizar la operación de rebabeo, el cuello lo tiene flexionado >20°, entre otras posturas incorrectas, así mismo mientras esta rebabeando una aspersora sale otra pieza de máquina sopladora el cual provoca una espera el cual hace que al momento de realizar la operación de rebabeo esté más duro el plástico. En el modelo propuesto el operador adopta posturas más cómodas tales como, el tronco Flexión entre 0° y 20°, el brazo cuenta con un punto de apoyo, el cuello lo tiene flexionado >10° y ≤20°, entre otras posturas que se mejoraron, así mismo mientras está rebabeando una aspersora se ajustó la temperatura de la máquina sopladora el cual elimina la espera, el cual termina de rebabeo y toma la otra de máquina el cual permite que el plástico sea más fácil de desprenderse y el nivel de riesgo se redujo en un 57.15% en comparación al modelo actual. La simulación en Promodel se realizó para conocer el impacto la propuesta de mejora en el tiempo de realización de la actividad de rebabeo de tanque soplado de acuerdo con la información recolectada sobre la operación, se realizó el modelo actual y el modelo propuesto (figura 8), el modelo actual del proceso de rebabeo de tanque soplado el cual consiste en retirar el sobrante de plástico a 106 piezas en un turno de 8 horas, el cual pasa por 6 locaciones. Una vez al correr la simulación se obtuvo como resultado un tiempo de producción de 8 horas con 45 minutos.

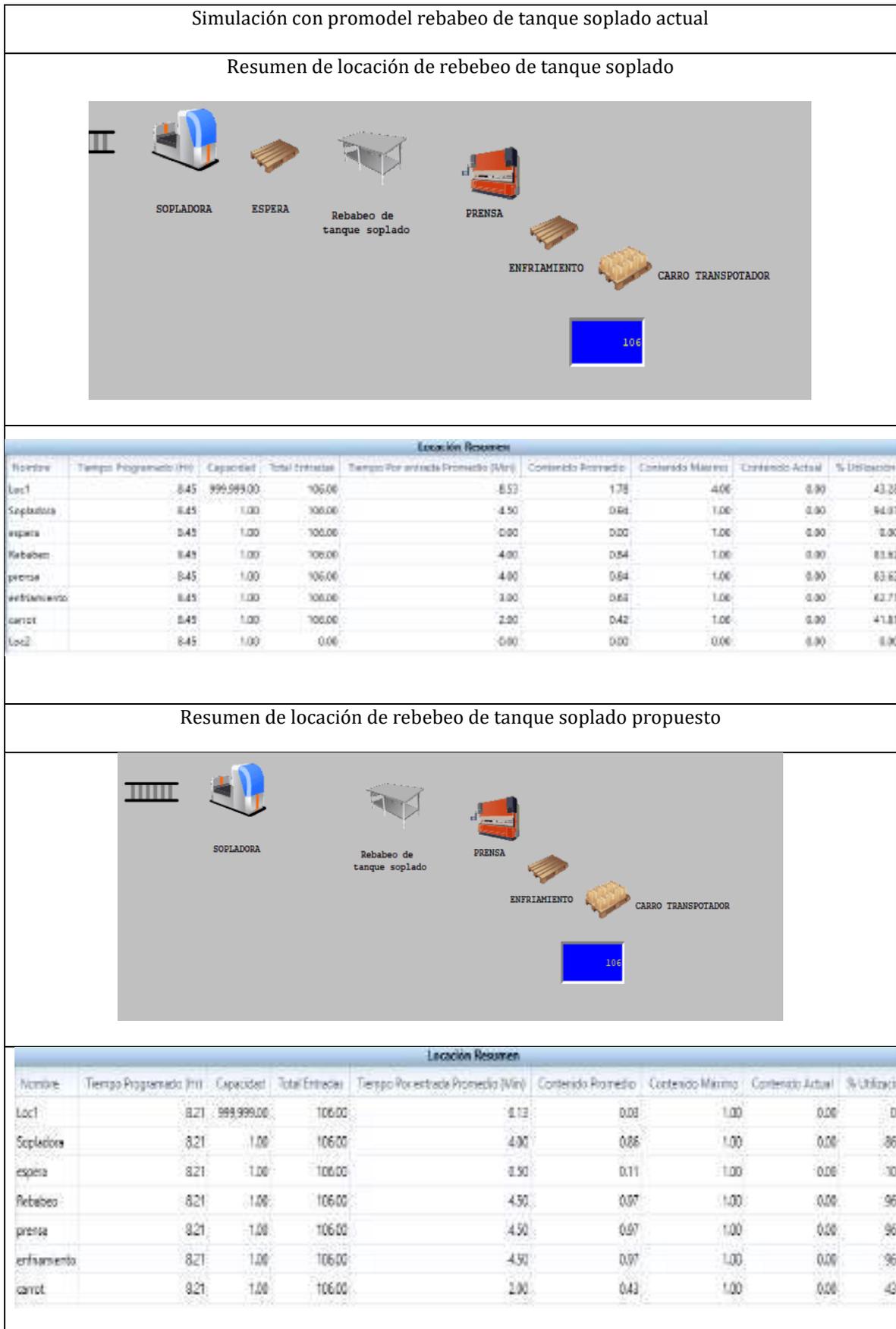


Figura 8. Simulación pro model

De acuerdo con los resultados obtenidos en la simulación se pudo determinar que dicha implementación es viable ya que no afecta el tiempo de realización de la operación aun sin haber un aumento significativamente la productividad, sin embargo, la reducción del nivel de riesgo es muy positiva ya que se redujo en un 57% por lo cual dicha implementación se debe realizar en dicho puesto de trabajo.

Como parte de las estrategias, dentro del área de EMAR se realizó una capacitación en el puesto de trabajo de empaque de aguilón, se realizaron estándares visuales y fueron explicados a los operadores encargados de realizar dicha actividad para una mejor ejecución de la actividad y reducir el nivel de riesgo ergonómico el cual era de 19, es decir, alto significativo. De igual manera se realizó material de capacitación (de higiene postural con la finalidad de mejorar el manejo manual de cargas.

Se realizó un programa de ergonomía, de acuerdo con los criterios de la NOM-036-1-STPS-2018 con la finalidad de llevar a cabo un seguimiento y la implementación de mejoras ergonómicas en los puestos de trabajo evaluados para reducir el nivel de riesgo ergonómico, el resultado de dicha implementación no forma parte de esta investigación, esta quedo a cargo del área de producción de la empresa para implementarse en el siguiente año de acuerdo con su capacidad financiera. Las mejoras propuestas se dividieron en dos etapas, dentro de la primera etapa de mejora se consideró: realizar capacitación sobre el manejo correcto de la carga en equipo para reducir el riesgo de presentar lesiones musculoesqueléticas, agudas visuales; capacitación para la manera correcta de levantamiento y transporte de la carga. En la segunda etapa se propuso realizar lecciones de un punto para el manejo correcto de las cargas, diseñar un sistema de agarre seguro para la carga de aguilón, realizar mantenimiento preventivo cada 2 semanas al patín hidráulico para prevenir averías en el transporte de aguilón.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó con base a la actividad de empaque de aguilón económico, la cual se lleva a cabo en el área de ensamble de maquinaria agrícola y refacciones (EMAR). Una vez recolectadas las muestras, se aplicó la prueba t de Student, de los 22 datos, se encontró una media de 15.86, una desviación estándar de 1.08, con un valor de p de 0.000. Por lo que se puede determinar que si existe una disminución estadísticamente significativa en el nivel de riesgo de la actividad una vez implementada la acción de mejora en el empaque de aguilones al 90 % de nivel de confianza. Se comprobó la normalidad de los datos.

Se logró identificar los riesgos potenciales justo como fue aplicado por (Fragoso, 2021) quien contribuyó con los objetivos de salud ocupacional bajo las especificaciones técnicas de la NOM-036-1-STPS-2018 controlando los factores de riesgo ergonómico. Por otra parte, en este estudio con la aplicación del cuestionario Nórdico se recolectaron resultados para determinar con ello dolores o malestares específicos, lo que coincidió con lo aplicado por Viñas (2017); lo que contribuye con una mejora integral a la organización (Muñoz, 2021). Se confirma la confiabilidad del cuestionario nórdico como un instrumento para detectar síntomas entre trabajadores, en tiempos de 7 días a 12 meses tanto en los últimos 12 meses, esta detección permite una canalización al área médica de la empresa, cabe mencionar que en México este cuestionario se aplica dentro de la norma 036- STPS. En el presente estudio se encontró que el 50% de trabajadores a presentado molestias en los últimos 7 días, porcentaje menor a lo mencionado por García (2021) quien comenta que el porcentaje de molestias es mayor a 90%.

En el caso de los métodos utilizados, muestran una gran similitud con los ya aplicados por otras empresas, dejando en claro la eficiencia y severidad de los resultados, como lo es el caso del método RULA que de acuerdo con (Bermudes, 2022) determina que la combinación entre tecnología y un eficiente método ergonómico, son una excelente combinación para una correcta postura del operador en otro estudio donde se aplicaron tres métodos y se correlacionó su efectividad, los resultados

indicaron que el mejor método para predecir el riesgo de trastornos musculoesqueléticos en diferentes tareas examinadas fue el método RULA (Sadeghi Yarandi, 2019)

De igual forma el método ROSA permite conocer si el diseño de las herramientas y equipo de trabajo es el adecuado para que el trabajador administrativo mantenga una correcta postura, tal como lo menciona (Inga, 2022) al obtener resultados y proponer un programa de gestión de prevención de riesgos laborales, obteniendo así, medidas adecuadas para la base de distintas normativas. (Ron, 2023) al evaluar el nivel de riesgo para la salud y predicción del dolor musculoesquelético encontraron una fuerte correlación positiva entre el riesgo para la salud y las puntuaciones ROSA. Por lo tanto, el considerar mejoras para disminuir el nivel de riesgo, seguramente tendría un efecto en los TME.

En esta investigación se tuvieron resultados favorables con la simulación, lo que concuerda con lo reportado por (Mergarejo et al., 2011) quienes en una empresa alimenticia la simulación en software permitió estimar el posible resultado de cinco mejoras propuestas; resultó que solo una permitió lograr cumplir el volumen de producción y la disminución de riesgos ergonómicos, los resultados de las demás ocasionaban disminución en la producción.

Por otra parte, con las mejoras implementadas por (Lara et al., 2022) se obtuvo un aumento del 11% en niveles medios de productividad, una disminución de los trastornos musculoesqueléticos (TME) y una disminución del 5 % en horas de ausentismo laboral.

La mejora con la capacitación in situ en el estudio, si fue estadísticamente significativa, como lo encontrado por (Chimpay et al., 2020) quienes determinaron la mejora basada en indicadores de eficiencia y eficacia las cuales aumentaron después de la mejora ergonómica, la productividad aumento en un 12 % además de la disminución de riesgo ergonómico.

Sin embargo, la capacitación solo es uno de los pilares para la disminución de riesgo ergonómico, ya que otro de los factores es el reducido tamaño de las áreas de trabajo; resultados similares a lo encontrado en una empresa metalmeccánica, se hizo mención que los trabajadores adoptan posturas forzadas debido a las dimensiones del puesto de trabajo, (Carvajal, 2019).

En el estudio se consideraron mejoras integrales a ser implementadas de manera paulatina, se inició con la capacitación y estándares de trabajo, sin embargo, para resultados en la disminución considerable de los riesgos ergonómicos, es necesario estas mejoras. Se ha reportado que la efectividad de intervención en salud y seguridad ocupacional requiere utilizar mejoras integrales, ya que únicamente la capacitación en levantamiento manual de cargas o hacer únicamente ajustes ergonómica en las estaciones de trabajo mostro resultados inconsistentes (Ardilla, 2013) e incluso (Navarro, 2020) considero la evaluación ergonómica para presentar la propuesta de un sistema con exoesqueleto para reforzar las operaciones del proceso industrial.

Por otra parte, se considero efectivo el medir el riesgo de trabajo después de la mejora implementada, como lo reportan (Lara et al., 2022) quienes mencionan que es necesario reevaluar los resultados de la tarea aplicando los nuevos resultados en los mismos métodos utilizados para asegurar la mejora propuesta.

Finalmente, el análisis ergonómico y las mejoras para que disminuyan los riesgos de trabajo, son parte fundamental de la sostenibilidad ambiental, social y económica de las empresas, así como la educación para la sostenibilidad social (Gajšek, 2022). En México la disminución de riesgos ergonómicos está relacionados con el cumplimiento de la norma 036-1-STPS-2018, pero también de otras normas como 035-STPS-2018, 011- STPS-2001 entre otras de carácter obligatorio para las empresas.

4. CONCLUSIÓN.

Al realizar este proyecto y analizar los diferentes puestos en las áreas de EMAR, ISMM, HE y PCP administrativo, se logró identificar que la empresa cuenta con diversas áreas de oportunidad para lograr una mejora en la ergonomía y de esta manera traer consigo grandes beneficios para la organización, en cuanto al manejo de manual de cargas, la mayoría de las evaluaciones realizadas arrojaron niveles de riesgo alto lo cual son puestos de trabajo que requieren acciones correctivas de manera urgente, ya que al realizar el análisis de las causas, se identificó que uno de los factores que más impacto son las diferentes posturas que adoptan los trabajadores, las condiciones del área y de los equipos que utilizan ya que realizan levantamientos de carga a niveles por encima de la cabeza y por debajo de las rodillas entre otras, las cuales traen consigo distintas molestias musculoesqueléticas en las diferentes zonas del cuerpo.

Así mismo, mediante las propuestas de intervención planteadas se pudo deducir que si es viable su implementación para mejora ergonómica de acuerdo con los resultados obtenidos en los análisis estadísticos realizado en el proyecto.

REFERENCIAS.

- Ardila Jaimes, C. P. (2013). Riesgo ergonómico en empresas artesanales del sector de la manufactura. *Medicina y seguridad del trabajo*, 102-111.
- Carvajal, J. L. (2019). Estudio ergonómico de operador de pala de extracción minera. *Ergonomía, investigación y desarrollo*, 1(3), 158-173.
- Castañeda Zavala, Y. G. (2014). Industria semillera de maíz en Jalisco: Actores sociales en conflicto. *Sociológica (México)*, 241-279.
- Cervantes, F. &. (2001). *Tipología de ganaderos lecheros de los altos de Jalisco*.
- Chimpay Cáceda, A. M. (2020). *Aplicación de la gestión ergonómica para mejorar la productividad en el área de producción de la empresa ENERGO*. Tesis, Universidad César Vallejo, Surquillo.
- Cruz Alberto, G. A. (2010). *Ergonomía aplicada*. Bogota: 4ta.
- Cuixart, S. N. (1998). Levantamiento manual de cargas: ecuación del NIOSH. *CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO ESPAÑA*.
- Cuixart, S. N. (1998). *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo*. Obtenido de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/NOGAREDA%20%26%20CANOSA%201998.%20NTP%20477.%20Levantamiento%20Manual%20de%20Cargas.pdf
- Bernardo, M. d. (2007). Estrategias de formación en desarrollo rural sustentable con actores sociales: El caso de la Red de Alternativas Sustentables Agropecuarias de Jalisco. *Estrategias de formación en desarrollo rural sustentable con actores sociales: El caso de la Red de Alternativas Sustentables Agropecuarias de Jalisco*. Andalucía, España, España.
- Del Sol, A. B.-C.-M. (2022). Diseño de un sistema de control de inventario de una tienda de juguetes*. *Ingeniería industrial*, 43, 61-79.
- De Finnegan, E. (2017). *Estudios globales, de Población Y Región III Rezagos de la Economía DE JALISCO EN LA APERTURA Económica (1980-2015)*. Zapopan, Jalisco: Página Seis.
- Dimate Aanh Eduardo, R. D. (2017). Percepción de desórdenes musculoesqueléticos y aplicación del método RULA en diferentes sectores productivos: una revisión sistemática de la literatura. *Revista de la Universidad industrial del Santander. Salud*, 49(1), 57-74.
- Estrada, M. A. (2022). *Evaluación ergonómica mediante la aplicación del método rosa y propuesta de intervención en los trabajadores administrativos de la Gerencia de Planeamiento y Desarrollo de la Empresa Electro Sur Este SAA*. Tesis, Universidad Andina, Cusco. Obtenido de Repositorio UAndina: <https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/5048>
- Gajšek, B. D. (2022). Linking the use of ergonomics methods to workplace social sustainability: The Ovako working posture assessment system and rapid entire body assessment method. *Sustainability*, 14(7), 4301.
- García, S. R. (2021). Gestión del talento humano: Diagnóstico y sintomatología de trastornos musculoesqueléticos evidenciados a través del Cuestionario Nórdico de Kuorinka. *universidad Internacional de Ecuador*.

- Girón, V. M. (1996). *Agricultura y migración en Jalisco*.
- Gómez–Conesa, A. &–G. (2002). Ergonomía. Historia y ámbitos de aplicación. *Fisioterapia*, 24, 3-10.
- Heliodoro, O. G. (2005). Agricultura, sociedad y espacios productivos en el sur de Jalisco. Puebla, Puebla, México.
- Herrera-Pérez, L. (2013). El cultivo de Agave tequilana Weber por pequeños productores de Tequila, Jalisco. *Agro Productividad*, 5-6.
- Herrera-Pérez, L. V.-P.-F.-C.-P.-M. (2018). Esquemas de contratos agrícolas para la producción de Agave tequilana Weber en la región de tequila, Jalisco. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 619-637.
- INEGI. (AGOSTO de 2012). *INEGI*. Obtenido de INEGI.
- INEGI. (NOVIEMBRE de 2023). *INEGI.ORG*. Obtenido de https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2023/CA_Def/CA_Def2022_Jal.pdf
- Inga, J. A. (2022). Gestión preventiva de riesgos ergonómicos, mediante el métodos ROSA, RULA en el área administrativa del GAD de la provincia de orellana. . Ecuador, Ecuador, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Jauregui, C. M. (2017). *Capacidades gubernamentales, sociales y económicas*. Guadalajara: Prometeo editores.
- Lara-Lezcano, A. P.-V.-f. (September de 2022). Dysergonomic Risk Management Model to improve welding productivity using the Nordic Questionnaire and the REBA and NIOSH methods: Case of the metal-mechanic sector in Lima, Perú. *Proceedings of the 3rd Asia Pacific International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 2536-2546.
- Maldonado, A. M. (2020). Validación chilena de la herramienta RAPP para la evaluación del riesgo de empuje y arrastre. *Ergonomía, Investigación y Desarrollo*.
- Menezes, F. (1995). Agricultura sustentable y pobreza rural. *Agroecología y desarrollo sustentable, memorias del 2.º seminario internacional de Agroecología*. Chapingo, México.
- Mergarejo, R. R. (2011). Ergonomía y simulación aplicadas a la industria. *Ingeniería industrial XXXII*, 2-11.
- Mirella, Z. R. (2012). Analisis de riesgos ergonómicos, a través de los métodos REBA Y RULA. *UNEXPO*.
- Mohsen Sadeghi Yarandi, A. A. (2019). Efectividad de tres evaluaciones de riesgos ergonómicos Herramientas, a saber, NERPA, RULA y REBA, para la detección de trastornos musculoesqueléticos. 188-201.
- Montoya, J. I. (2011). Cambio en la cobertura y uso de suelo en el norte de Jalisco, México: Un análisis del futuro, en un contexto de cambio climático. *Ambiente & agua*, 111-128.
- Morales Hernández, J. (2004). Sociedades rurales y naturaleza. En busca de alternativas hacia la sustentabilidad. *Sociedades rurales y naturaleza. En busca de alternativas hacia la sustentabilidad*. Guadalajara, Jalisco, México.
- Morales Perrazo, L. R. (2019). Riesgo ergonómico por levantamiento de cargas: Caso de estudio “Talleres de mantenimiento vehicular de maquinaria pesada”. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 17-26.
- Mora, A. F. (2021). Diagnóstico con base a la NOM-036-1-STPS-2018 para la evaluación de riesgo ergonómico en puestos operativos. Guanajuato, Guanajuato, México: Revista RELAYN.
- Muñoz, E. L. (2021). Estudio de validez y confiabilidad del cuestionario nórdico estandarizado, para detección de síntomas musculoesqueléticos en población mexicana. *Ergonomía, investigación y desarrollo*, 3(10), 8-17.
- Navarro, C. R. (2020). Analysis of Ergonomic Methods used to prevent negative effect i the health of workers in a metallic industry in Mexicalli, México. *Mediterranean Journal of basic And applied sciences*, 33.41.
- NOM-036-STPS. (2018). *NOM 036*. Obtenido de Diario Oficial de la Federación.
- Ochoa G., H. (2005). Agricultura, sociedad y espacios productivos en el sur de Jalisco. Puebla, Puebla, México.
- pesquera, S. d. (19 de marzo de 2022). *Servicio de Información agroalimentaria y pesquera*. Obtenido de Gobierno de México: <https://www.gob.mx/siap/articulos/el-tequila-ha-generado-una-industria-economicamente-muy-activa?idiom=es#:~:text=Jalisco%20es%20la%20entidad%20que,de%20pesos%20en%20el%20esta do>.
- Ramos, J. F. (2012). *Cultura, región y sociedad*. Guadalajara: La casa del mago.
- Ramos, J. F. (2012). *Cultura, región y sociedad*. Guadalajara: La casa del mago.
- Rodríguez-Ruíz, Y., & Pérez-Mergarejo, E. (2011). Ergonomía y simulación aplicadas a la industria. *Ingeniería Industrial*, 2-11.
- Ron, M. P.-R. (2023). Nivel de riesgo para la salud y predicción del dolor musculo-esquelético en trabajadores en condiciones de teletrabajo: Un enfoque matricial. *Rehabilitación Interdisciplinaria*, 3-40.

- Salud, O. M. (febrero de 2021). *OMS*. Obtenido de OMS: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/musculoskeletal-conditions>
- Salud, O. M. (Febrero de 2021). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de Organización Mundial de la Salud: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/musculoskeletal-conditions>
- Sadeghi Yarandi, M. S. (2019). Effectiveness of three ergonomic risk assessment tools, namely NERPA, RULA, and REBA, for screening musculoskeletal disorders. *Archives of Hygiene Sciences*, 8(3), 188-201.
- Trejo, I. (2015). Bosques Tropicales Secos. *Revista OKARA: geografía en debate*, 261.274.
- turismo, S. d. (2017). *Gobierno de México*. Obtenido de Gobierno de México: <https://www.gob.mx/sectur/articulos/lagos-de-moreno-jalisco>
- Viñas, J. L. (2017). Evaluación de la higiene postural a través de la aplicación del cuestionario nórdico muscoesquelético en la universidad de Oriente Veracruz. *Universciencia*, 19-32.
- Yordán Rodríguez Ruíz, S. V. (2010). ERIN: Un método observacional para evaluar la exposición a factores de riesgo de desórdenes músculo-esqueléticos. *Convención científica de ingeniería y arquitectura*, 1-7.
- Yunus, M., Jaafar, M., Mohamed, A., Azraai, N., & Hossain, M. (2021). Implementation of Kinetic and Kinematic Variables in Ergonomic Risk Assessment Using Motion Capture Simulation. *Public Health*.
- Zegarra, R. A. (2012). Analisis de riesgos ergonómicos, a traves de los métodos REBA y RULA. *Unexpo*.

¿Cómo ayudamos al medio ambiente desde la cadena de suministro?

Arriolou, Daniela

dani.arriolou@gmail.com

Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (Argentina).

Fecha de recepción RIII: 12/04/2024

Fecha de aprobación RIII: 27/10/2024

RESUMEN

La importancia de la sustentabilidad en procesos logísticos más la coordinación de la cadena de suministro elevan la madurez de integración mediante flujos de materiales e información de manera conjunta. La diferencia radica en el conjunto de prácticas entre proveedores, empresa y clientes con el fin de integrar con un elevado grado de madurez y evaluar acciones amigables ambientalmente.

La investigación se basa en anexar sustentabilidad en cada proceso al mismo tiempo que sube el nivel de integración de la cadena de suministro; aplicándolo a un caso de estudio con un diseño descriptivo donde se diagnostica la mencionada cadena de una empresa dedicada a la construcción y metalúrgica de Olavarría. Los procesos revelados son relación con proveedores, compras, almacenamiento y proceso de construcción modular.

El objetivo es determinar las prácticas logísticas que aportan integración a la cadena de suministro de manera sustentable en la construcción modular en seco.

Durante el desarrollo se pudo evaluar el proceso desde el pedido, considerando las necesidades propias de cada cliente, hasta la entrega al mismo. Al pasar por cada etapa se identificaron acciones sustentables que potencian la integración de toda la cadena.

Los resultados indican que las prácticas logísticas integradas pueden realizarse de forma sustentable, desde las compras con una relación estratégica con proveedores, hasta un diseño diferenciado para una entrega múltiple eficientizando la entrega de hasta cuatro productos con un mismo transporte.

Palabras Claves: sustentabilidad; cadena de suministro (CS); integración, madurez; ambiente.

How do we help the environment from the supply chain?

ABSTRACT

The importance of sustainability in logistics processes plus the coordination of the supply chain raise the maturity of integration through flows of materials and information together. The difference lies in the set of practices between suppliers, companies and clients in order to integrate SC with a high degree of maturity and evaluate environmentally friendly actions.

The research is based on adding sustainability to each process while raising the level of integration of SC; applying it to a case study with a descriptive design where SC of a company dedicated to the construction and metallurgical of Olavarría is diagnosed. The revealed processes are relationships with suppliers, purchases, storage and modular construction process.

The objective is to determine the logistics practices that provide integration to the supply chain in a sustainable way to dry modular construction.

During the development, it was possible to evaluate the process from the order, considering the specific needs of each client, until the delivery to the same. Going through each stage, sustainable actions were identified that enhance the integration of the entire chain. The results indicate that integrated logistics practices can be carried out in a sustainable way, from purchases with a strategic relationship with suppliers, to a differentiated design for multiple delivery, making the delivery of up to four products with the same transport more efficient.

Keywords: sustainability; supply chain (SC); integration; maturity; environment.

Como ajudamos o meio ambiente a partir da cadeia de abastecimento?

RESUMO

A importância da sustentabilidade nos processos logísticos somada à coordenação da cadeia de suprimentos elevam a maturidade da integração por meio de fluxos de materiais e informações em conjunto. O diferencial está no conjunto de práticas entre fornecedores, empresas e clientes para integrar a SC com alto grau de maturidade e avaliar ações ambientalmente corretas.

A pesquisa se baseia em agregar sustentabilidade a cada processo e ao mesmo tempo elevar o nível de integração do SC; aplicando-o a um estudo de caso com desenho descritivo onde se diagnostica o SC de uma empresa dedicada à construção e metalurgia de Olavarría. Os processos revelados são relacionamento com fornecedores, compras, armazenamento e processo de construção modular.

O objetivo é determinar as práticas logísticas que proporcionem integração à cadeia de suprimentos de forma sustentável para a construção modular a seco.

Durante o desenvolvimento foi possível avaliar o processo desde o pedido, considerando as necessidades específicas de cada cliente, até a entrega ao mesmo. Passando por cada etapa, foram identificadas ações sustentáveis que potencializam a integração de toda a cadeia.

Os resultados indicam que práticas de logística integrada podem ser realizadas de forma sustentável, desde compras com relacionamento estratégico com fornecedores, até um design diferenciado para entrega múltipla, tornando mais eficiente a entrega de até quatro produtos com o mesmo transporte.

Palavras chave: sustentabilidade; cadeia de suprimentos (CS); integração; maturidade; ambiente.

1. INTRODUCCIÓN

La logística es la esencia de las relaciones comerciales, aumenta el estándar económico en la vida de todas las partes de la sociedad siendo el puente entre la ubicación de producciones y mercados considerando el tiempo y la distancia cruzados por la economía. Con esto entendemos que la logística involucra todas las operaciones de movimiento que se realizan en la cotidianidad. La administración coordinada de esta serie de operaciones es denominada Cadena de Suministro.

La cadena de suministro (CS) abarca todas las actividades de flujo y transformación de materiales/bienes, desde el abastecimiento de materias hasta la distribución de los mismos, en otras palabras, todas las acciones que se realizan desde la extracción de la materia prima hasta la disposición en el usuario o cliente final. Para que su eficiencia sea máxima, se debe incluir la mayor cantidad de movimientos posibles, con la coordinación y colaboración de los miembros (Ballou, 2004) (Chopra, 2020). Frente a esto se podría pensar en la disposición final, es decir plantear una cadena de suministro que abarque todo el ciclo de vida completo.

Desde la década de 1980, la CS viene siendo estudiada sin lograr un buen entendimiento; motivo por el cual, se cuenta con diferentes conceptos sobre la misma entendiéndose que la CS es una red de organizaciones que al realizar diversos procesos y actividades generan valor sobre los productos y servicios para el cliente final (Christopher, 1998), además se resalta que el desarrollo científico de una disciplina de administración de CS coherente requiere hacer avances en el desarrollo de modelos teóricos para mejorar la comprensión de sus fenómenos (Croom, 2000). En varias publicaciones se reconoce que la CS debe ser vista como la unidad central del análisis competitivo (Cox, 1997 en Croom, 2000); entendiéndose como ventaja competitiva la “capacidad de crear una posición diferenciada frente a sus oponentes” (Li, 2006); es decir las competencias que ubican a la organización por sobre los competidores (Tracey, 1999).

Así como cuenta con diferentes definiciones, la CS cuenta con variedad de propósitos. De acuerdo con Li (2006) el doble propósito de la gestión de cadena de suministro es mejorar el desempeño de una organización individual tanto como el de la CS. Bowersox and Closs (1996) sostienen que, para contrarrestar el ambiente competitivo de hoy, las empresas deben integrarse incorporando a los clientes y proveedores. Esta extensión mediante la integración externa, es denominada por ellos, gestión de la cadena de suministro. Y Chopra (2020) hace referencia al propósito del crecimiento del superávit (valor-costo), sólo considerando la rentabilidad de la misma.

Por otra parte, sabemos que el medio ambiente está siendo afectado bajo el modelo de producción basado en el rendimiento económico. Por tal motivo, consideramos la sustentabilidad como el conjunto de decisiones y procedimientos que se deben realizar sin perjudicar el ecosistema ni sus recursos, respetando la vida en todas sus formas para asegurar el bienestar del futuro de la sociedad, sopesando que la población aumenta mientras los recursos disminuyen. (Panceri, 2021).

Enlazado a esto, se encuentran las buenas prácticas ambientales, acciones que colaboran a reducir el impacto negativo que los procesos provocan al medio ambiente, por ejemplo: reciclado, ahorro de papel y cartón, uso consciente del agua y la energía, etc. Una CS integrada teniendo en cuenta el ambiente, no solo será de ganancia para sus actores, sino también para el planeta y las futuras generaciones.

Frente a estas dos grandes problemáticas diferenciadas, la pregunta incipiente es: ¿la realización de buenas prácticas logísticas se complementa con una mirada ambiental, preocupada por lograr la mejora del rendimiento de la CS tanto como por el impacto sobre el medio ambiente? Y de ella se desprenden: ¿Cómo pueden trabajar en conjunto? ¿Cómo la sustentabilidad puede aportar en la integración de la

cadena de suministro? ¿Cómo la cadena de suministro puede estar integrada y servir de manera sustentable? Y siendo más específica ¿Qué actividades sustentables conviven con una cadena integrada?

Actualmente, se cuenta con diversos estudios sobre la gestión, la administración y la mejora de la cadena de suministro; con diversas metodologías que pueden aplicarse dando resultados de integración beneficiosos para las cadenas logísticas. El uso de modelos de madurez brinda una herramienta para el seguimiento cuando se toman acciones y se deciden mejoras permitiendo evaluar habilidades, capacidades y competencias de todos los actores, y define etapa de avance hacia el aumento de la integración de los diferentes actores que componen una cadena de suministro (Röglinger, 2012).

Pese a que se han realizado muchos estudios en estas temáticas, se vislumbra una carencia en modelos de investigación que consideren simultáneamente el desempeño efectivo de una cadena de suministro con bajo impacto en el ambiente, es decir, con integración sustentable. Frente a esto, surgen las siguientes interrogantes: ¿Cómo reconocer y tener en cuenta los impactos que se van generando en cada etapa de la CS?, ¿Cómo disminuir los mismos?

La creciente preocupación sobre las diferentes afecciones ambientales, abren un panorama en el cual se considera que la mirada sobre la integración de la CS debe anexar, de forma transversal, los ejes económicos, social y ambiental; garantizando que la acción que se lleve adelante responda de la mejor manera a los tres ejes en simultáneo; sin olvidar los diferentes participantes afectados por mantener relaciones con la CS de manera directa o indirectas.

Adicionalmente, es importante tener presente la agenda de aspiraciones globales de las Naciones Unidas y las adaptaciones que el Gobierno argentino presentó frente a las metas de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible. El presente trabajo tiene sus cimientos de aporte a 5 Objetivos de Desarrollo Sostenible:

- Objetivo 3: Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades.
- Objetivo 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.
- Objetivo 9: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.
- Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.
- Objetivo 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.

Conjuntamente, existe una necesidad de hacer que el mundo sea más sustentable, de manera que el futuro pueda tener más oportunidades frente al crecimiento social, los escasos recursos y las afecciones del medio ambiente. Por tanto, ampliar las planificaciones a largo plazo, de manera que se puedan visualizar las ganancias de los esfuerzos que hoy debemos realizar (Chopra, 2020).

Con este sustento, el presente trabajo, tiene como objetivo reconocer las prácticas logísticas que aportan en el nivel de madurez de integración de la cadena de suministro desde un enfoque ambientalmente sustentable.

2. PROCEDIMIENTO

El presente trabajo de investigación expone un enfoque de conceptos metodológicos de la investigación científica cualitativa (Sampieri, 2014), implicando un proceso de recolección, análisis y vinculación de datos para obtener un estado de situación más completo del fenómeno en estudio.

El diseño de la investigación es explicativo secuencial, caracterizado por una etapa en la cual se recogen y evalúan datos cualitativos. La información obtenida se lleva a resultados cuantitativos para un futuro análisis de comparación entre situaciones. Posteriormente, los descubrimientos recolectados se integran en la interpretación y elaboración del reporte final del estudio.

En primera instancia se realiza una exhaustiva revisión del estado del arte correspondiente a la temática abordada en diferentes fuentes de información, acompañado con la búsqueda en bases de datos reconocidas.

A continuación, mediante el uso de modelos de madurez de la CS se aborda la investigación de manera descriptiva, a fin de especificar características importantes detectadas en el diagnóstico de una organización seleccionada como caso de estudio de la ciudad de Olavarría y la zona, en relación con los procesos de la CS y su nivel de integración ambientalmente sustentable.

La metodología que se utiliza para realizar dicha investigación consiste en el estudio de caso propuesto por Yin (2014), donde se estudia un fenómeno organizacional que involucra diversas variables que no son sencillas de analizar y este enfoque ayuda a utilizar la experiencia para la transmisión del conocimiento. Con base en la definición de Yin (2014) sobre un estudio de caso, se realiza una investigación empírica que estudia la integración de la CS y el impacto de sus actividades en el medio ambiente. Se trata su situación involucrando más de una variable de interés y basándose en múltiples fuentes de evidencia, con el beneficio del desarrollo previo de proposiciones teóricas que guían la recolección y el análisis de datos que convergen en un estilo de triangulación.

Para efectuar la elección de la unidad de análisis se definen como principales criterios: el tipo de organización, su tamaño, el tipo de actividad y el grado de accesibilidad a la misma para el desarrollo de la investigación.

En este sentido, se abordará el estudio en una empresa con inicios en el año 2006 dedicada a realizar obras civiles y metálicas con sede en el Parque Industrial de Olavarría. Sus socios aportan experiencia anterior en los rubros por separado y, gracias a la labor conjunta, ampliaron las prestaciones de sus servicios, así como la cartera de clientes. Con visión, desde los inicios, a la constante mejora, amplían el abanico de productos ofrecidos e incorporan equipamiento e infraestructura.

La recolección de datos surge de fuentes primarias mediante la realización de una entrevista cualitativa introductoria con personal de jerarquía superior y utilizando un instrumento de preguntas con respuestas para cuantificar con personal de jerarquía media, que contempla enfoques cualitativos respecto a las distintas variables o características que se pretenden estudiar a fin de obtener información adicional relevante para el análisis. Además, se cuenta con gran acceso a la institución a través de visitas y recorridos por la misma.

Para analizar la información se recurre al uso de tablas y gráficos.

En esta oportunidad, se acotará el estudio a construcciones modulares, haciendo foco en los procesos de relación con proveedores principales, almacenamiento de materiales y desechos del proceso de

fabricación. Adicionalmente, se evalúa de modo transversal a los tres procesos con la variable sustentabilidad. Se utilizará un instrumento que consta de preguntas cerradas, cuyas respuestas se valorarán con el fin de obtener indicadores para comparaciones a futuro. La escala a utilizar se graduará entre 0 y 2 con las siguientes asignaciones:

- 0: Malo, No, respuestas de negatividad.
- 1: Bueno, Sí y respuestas de positividad.
- 2: Indistinto y respuestas que no encuadren en las opciones anteriores.

Se realiza la suma de las valoraciones correspondientes a cada asignación y se considera que un 70% de respuestas valoradas en 1, indican que la cadena de suministro está integrada entre empresa y proveedor. Esto es considerando que más de la mitad de buenas respuestas ya aporta una integración básica, con un 20% más se considera que la integración es alcanzada pero aún puede mejorar.

Las preguntas cerradas, se mostrarán junto a sus respuestas y valoración mediante tablas que se muestran a continuación:

Tabla 1 - Tabla de proveedores - Creación propia en Excel

	PROVEEDORES	RESPUESTA	VALORACIÓN
A	¿Cuán importante es el material brindado por el proveedor?		
B	¿Hay otro proveedor que venda lo mismo?		
C	¿Hay sustituto de los productos principales?		
D	¿Tienen contrato con algún proveedor?		
E	¿Hay algún aporte del proveedor en el diseño?		
F	¿Los materiales son recibidos en tiempo y forma?		
G	¿Tienen gran cantidad de devoluciones o atrasos por mala calidad de los materiales?		
H	¿Evalúan el desempeño de los proveedores?		
I	En caso de hacer evaluación, ¿se la comunican a los proveedores?		
J	¿Cuánto se transportan los productos para llegar a la empresa?		
K	¿Son reciclados los materiales?		
L	¿Se aprovecha al máximo cada material?		
M	¿Cómo califica la atención del vendedor?		
N	Comentarios		

Tabla 2 - Tabla de almacenes - Creación propia en Excel

	ALMACENES DE MP PRINCIPALES	RESPUESTA	VALORACIÓN
A	Los paneles pre armados, ¿Qué importancia tienen en el proceso?		
B	¿Cuántos proveedores las realizan?		
C	¿Hay sustituto de ellas?		
D	¿Cómo califica los despachos de materiales?		
E	¿Cómo califican los tiempos de entrega?		
F	¿Cómo califica la calidad de las diferentes tandas de materiales recibidos?		
G	Las chapas dobladas para abulonamiento, ¿Qué importancia tienen en el proceso?		
H	¿Cuántos proveedores las realizan?		
I	¿Hay sustituto de ellas?		
J	¿Cómo califica los despachos de materiales?		
K	¿Cómo califican los tiempos de entrega?		
L	¿Cómo califica la calidad de las diferentes tandas de materiales recibidos?		
M	¿Cómo calificaría el orden y limpieza de sus almacenes?		
N	¿Cuánto material reciclado usan para su proceso?		
O	Comentarios		

Tabla 3 - Tabla de desechos - Creación propia en Excel

	RESIDUOS DEL PROCESO	RESPUESTA	VALORACIÓN
A	¿Cuán eficiente crees que es el uso de materiales?		
B	¿Cuánta cantidad de materiales desechan?		
C	¿Cuán peligrosos son sus desechos de proceso?		
D	¿Cómo califica los desechos de residuos de producción?		
E	Comentarios:		

Para conocer la integración de la cadena frente a las tablas 1,2 y 3 se utiliza la ecuación (1):

$$\text{Grado de integración} = \frac{\text{Cantidad de respuestas valoradas en 1}}{31 - \text{Cantidad de valoradas en 2}} * 100\% \quad (\text{Ecuación 1})$$

Considerando la integración alcanzada con resultados mayores al 70%.

Se finaliza en análisis con la matriz de sustentabilidad (Figura 1) propuesta por Pancieri (2021), en la cual se tienen en cuenta los cuatro ejes que la sostienen:



Figura 1 – Matriz de Sustentabilidad - Creación propia en SmartArt a partir de Pancieri (2021)

Para hacer la correspondiente evaluación en cada uno de los pilares, se tendrá en cuenta que:

- **Economía:** se relaciona con el objetivo individual o colectivo de las partes. Se basa en pilares como producción, innovación, tecnología y consumo; este es el punto que más se ha desarrollado a lo largo de la historia, ahora se debería comenzar a pensar en rutas alternativas, modificando los hábitos y considerando el crecimiento de la población junto con el límite de los recursos.
- **Recursos:** hace referencia a los naturales: tierra, agua, flora, fauna, hidrocarburos, etc. Los recursos naturales son finitos y de lucro para quien tiene su propiedad, por este motivo se deben satisfacer las necesidades considerando que estos bienes económicos se están acabando.
- **Sociedad:** para este punto, se debe tener en cuenta que la población mundial crece a diferentes porcentajes según cada país y está segmentada por demografía y economía. Sus pilares son educación, trabajo, y mejora de recursos desde la niñez, con el fin de correr el eje productivo y de consumo a un modelo más equitativo y con correspondencia en un mundo posible de sostener.
- **Medioambiente:** este punto se basa en preservar el medio ambiente de la degradación y contaminación constante. Se considera “la gran falla del mercado” no tener en cuenta los efectos de los procesos de producción y consumo. Se debe incorporar al razonamiento la idea de un modelo que no haga peligrar la existencia de las distintas especies del planeta.

En base a los resultados obtenidos, se describen y analizan los procesos seleccionados de la CS del caso de estudio de referencia y se detectan puntos potenciales de mejora.

3. DESARROLLO

Como se mencionó anteriormente, este trabajo se acotará al estudio de tres procesos de la construcción modular: compras/aprovisionamiento, almacenamiento y fabricación. Dentro de cada uno se hará foco en aspectos más relevantes para la integración de madurez de la Cadena de suministro y la sustentabilidad.

3.1. Compras/Aprovisionamiento: relación con proveedores

El proceso de compras consta de una serie de pasos que deben llevarse a cabo para adquirir un producto o servicio necesario. El corriente hace foco en la relación con los proveedores, es decir con el inicio de este proceso.

Los proveedores son quienes abastecen las materias primas necesarias para el proceso de construcción modular, la buena relación con estos permite aumentar o disminuir drásticamente la integración de madurez de la cadena de suministro. Bajo este predicamento (Figura 2), los procesos de aprovisionamiento incluyen la selección de los proveedores, el diseño de contratos (cuando son necesarios), la colaboración en el diseño de producto, el abastecimiento de materiales y la evaluación de desempeño (Chopra, 2020)

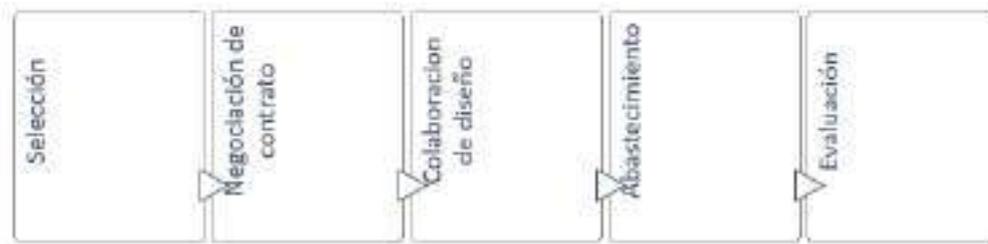


Figura 2 – Procesos claves de aprovisionamiento - Creación propia en SmartArt a partir de Chopra (2020)

Cada proveedor debe llevar un seguimiento de su desempeño en todas las dimensiones mencionadas previamente, además del precio por el que cobra por unidad. El impacto de cada factor en el costo total se resume en los factores calidad, atención, logística y medio ambiente. Estos permiten calificar y comparar entre diversos proveedores con diferentes desempeños en cada dimensión (Mora, 2016) (Chopra, 2020).

Para esta evaluación se completó la tabla de proveedores (Tabla1) con la arquitecta a cargo del proceso, haciendo foco en los materiales de estructura de las construcciones modulares, chapas con aislamiento y molduras de unión.

Tabla 4 - Tabla de proveedores contestada - Creación propia en Excel

	PROVEEDORES	RESPUESTA	VALORACIÓN
A	¿Cuán importante es el material brindado por el proveedor?	Los proveedores de las chapas y las molduras son dos diferentes, uno de cada material, y lo que nos traen es muy específico. Así que es muy importante.	1
B	¿Hay otro proveedor que venda lo mismo?	No, como el material es específico tenemos una serie de especificaciones que ellos cumplen para entregarnos los materiales, como medidas, calidades, etc.	0
C	¿Hay sustituto de los productos principales?	Puede llegar a haber sustituto, en nuestro caso no lo consideramos.	2
D	¿Tienen contrato con algún proveedor?	Sí, tenemos contrato con los dos proveedores.	1
E	¿Hay algún aporte del proveedor en el diseño?	Si. Con el proveedor de las chapas trabajamos lo correspondiente a medidas y aislación; y con el de las molduras se trabajó en la elección del material de las mismas y los mejores lugares para hacer los abulonamientos.	1
F	¿Los materiales son recibidos en tiempo y forma?	Sí. Ambos proveedores cumplen desde su lugar, a veces hay retrasos por falta de materias primas de sus propios proveedores o por transporte. Pero nos avisan.	1
G	¿Tienen gran cantidad de devoluciones o atrasos por mala calidad de los materiales?	No. Nos ha pasado pocas veces de enderezar algún reborde de las chapas, porque suponemos que en el traslado pasó algo.	1
H	¿Evalúan el desempeño de los proveedores?	No. Se tiene conversación con ambos para comentar lo que va pasando.	0
I	En caso de hacer evaluación, ¿se la comunican a los proveedores?	No la estamos haciendo, pero de hacerla sería una opción.	2
J	¿Cuánto se transportan los productos para llegar a la empresa?	Ambos materiales vienen de Buenos Aires. No trabajamos con proveedores locales.	0
K	¿Son reciclados los materiales?	No, son materiales nuevos con los que trabajamos.	0
L	¿Se aprovecha al máximo cada material?	Sí. Realizamos un cambio en el diseño para no realizar cortes de chapas y las molduras ya las recibimos a medida.	1
M	¿Cómo califica la atención del vendedor?	Ambos clientes dan buena atención.	1
N	Comentarios		

3.2. Almacenamiento de materias primas

Se habla de almacenar haciendo referencia a guardar objetos en lugares específicos. Dentro de una organización, el almacenamiento se puede dar en las materias primas, los semi producidos, los productos terminados, entre otros.

El área de almacenamiento requiere de una gestión funcional interrelacionada con las áreas financiera, producción compras y ventas, ya que cada área asume los almacenes según sus intereses y se debe hacer en conjunto (Mora, 2016). Es fundamental en este proceso el trabajo en conjunto, como primera instancia de integración interna para llegar a un grado de madurez en la integración de la cadena de suministro con actores externos.

Tabla 5 - Tabla de almacenes contestada - Creación propia en Excel

	ALMACENES DE MP PRINCIPALES	RESPUESTA	VALORACIÓN
A	Los paneles pre armados, ¿Qué importancia tienen en el proceso?	Son primordiales, sin ellos no se puede comenzar las paredes ni el techo.	1
B	¿Cuántos proveedores las realizan?	Hay varios proveedores que fabrican chapas pre armadas, pero pocos dan lugar a modificaciones de aislamiento como el nuestro.	1
C	¿Hay sustituto de ellas?	Sí. Pero no es la idea trabajar con otro material.	0
D	¿Cómo califica los despachos de materiales?	Los despachos se realizan comúnmente en tiempo y forma, llegando el camión a nuestro galpón y se descarga entre el viajante y los operarios.	1
E	¿Cómo califican los tiempos de entrega?	Ver respuesta anterior	1
F	¿Cómo califica la calidad de las diferentes tandas de materiales recibidos?	Es acorde a lo que necesitamos.	1
G	Las chapas dobladas para soldadura, ¿Qué importancia tienen en el proceso?	Es lo que usamos para hacer las uniones piso y pared, pared y techo y entre las mismas paredes. No comenzamos hasta no tener todo.	1
H	¿Cuántos proveedores las realizan?	Al ser una pieza mecanizada, la puede realizar cualquiera. Nosotros elegimos hacerla con uno de Buenos Aires por razones de políticas de empresa.	0
I	¿Hay sustituto de ellas?	No, es una pieza hecha a medida.	0
J	¿Cómo califica los despachos de materiales?	Nos mandan las piezas por un tercerizado de logística y las recibimos en el galpón.	1
K	¿Cómo califican los tiempos de entrega?	El proveedor suele despachar en tiempo, es común tener algunos retrasos por la logística tercerizada.	1
L	¿Cómo califica la calidad de las diferentes tandas de materiales recibidos?	Buena, nunca tuvimos problemas de medidas o de no cumplimiento con algún requisito importante.	1
M	¿Cómo calificaría el orden y limpieza de sus almacenes?	Nuestros almacenes son muy pequeños, están al aire libre como pueden ver y no se tienen grandes cuidados o atenciones.	0
N	¿Cuánto material reciclado usan para su proceso?	No se usan reciclados.	0
O	Comentarios		

Como este trabajo se trata de construcción modular se acotará a las materias primas principales del proceso, como lo son paneles pre armados de pared y techo y las uniones de chapa doblada para

abulonamiento. Esta decisión se basa en la criticidad de los materiales, a criterio del personal entrevistado, específicos para la construcción con características y medidas especiales para llevar a cabo la producción. Bajo estas restricciones, se completó la tabla de almacenes (*Tabla 2*) con la arquitecta a cargo del proceso.

3.3. Fabricación: residuos

En la industria, se llama residuo al resultante sólido, líquido o gaseoso de los procesos de fabricación, transformación, utilización, consumo, limpieza o mantenimiento generados por la actividad, en este caso la construcción modular (Lopez Perez, 2017).

Existe una gran variedad de residuos industriales que puede clasificarse en asimilables a urbanos, inertes o peligrosos. En la construcción modular se cuenta con muy poco de residuos peligrosos, entre los que encontramos cartuchos de siliconas de 300 ml y latas de pinturas. Con los asimilables a urbanos e inertes se completó la tabla correspondiente (*Tabla 3*).

Tabla 6 - Tabla de desechos contestada - Creación propia en Excel

	RESIDUOS DEL PROCESO	RESPUESTA	VALORACIÓN
A	¿Cuán eficiente crees que es el uso de materiales?	Se hace el uso lo más eficiente que podemos. Como comenté antes, hicimos una modificación en el diseño para no realizar cortes en las chapas, las molduras vienen a medida y lo demás es mínimo que se utiliza por unidad (bulones, clavos, siliconas, etc.). Casi no tenemos desperdicios, se puede ver que solo se cortan las placas de revestimiento, o cuando se coloca alguna canaleta en las chapas; pero no es de volumen significativo.	1
B	¿Cuánta cantidad de materiales desechan?	Ver respuesta anterior	1
C	¿Cuán peligrosos son sus desechos de proceso?	Los desechos peligrosos son los cartuchos de silicona, los tarros de pintura y los elementos para pintar, tipo pinceles, rodillos, solventes. Pero no tenemos residuos peligrosos en sí, solo algún recorte pequeño de chapa o revestimiento. Bueno también están los elementos de herramientas como discos, lijas. Pero no peligrosos.	1
D	¿Cómo califica los desechos de residuos de producción?	Ver respuesta anterior	1
	Comentarios:		

Para conocer la integración de la cadena frente a las tablas antes vistas se utiliza la ecuación (2):

$$\text{Grado de integración} = \frac{21}{31 - 2} * 100\% = 72,4\% \quad (\text{Ecuación 2})$$

3.4. Matriz de sustentabilidad.

Para finalizar este análisis, se añade una mirada desde la sustentabilidad. Teniendo en cuenta la descripción de cada eje antes detallada, se creó la matriz con asistencia de la arquitecta Leiva de la siguiente manera:

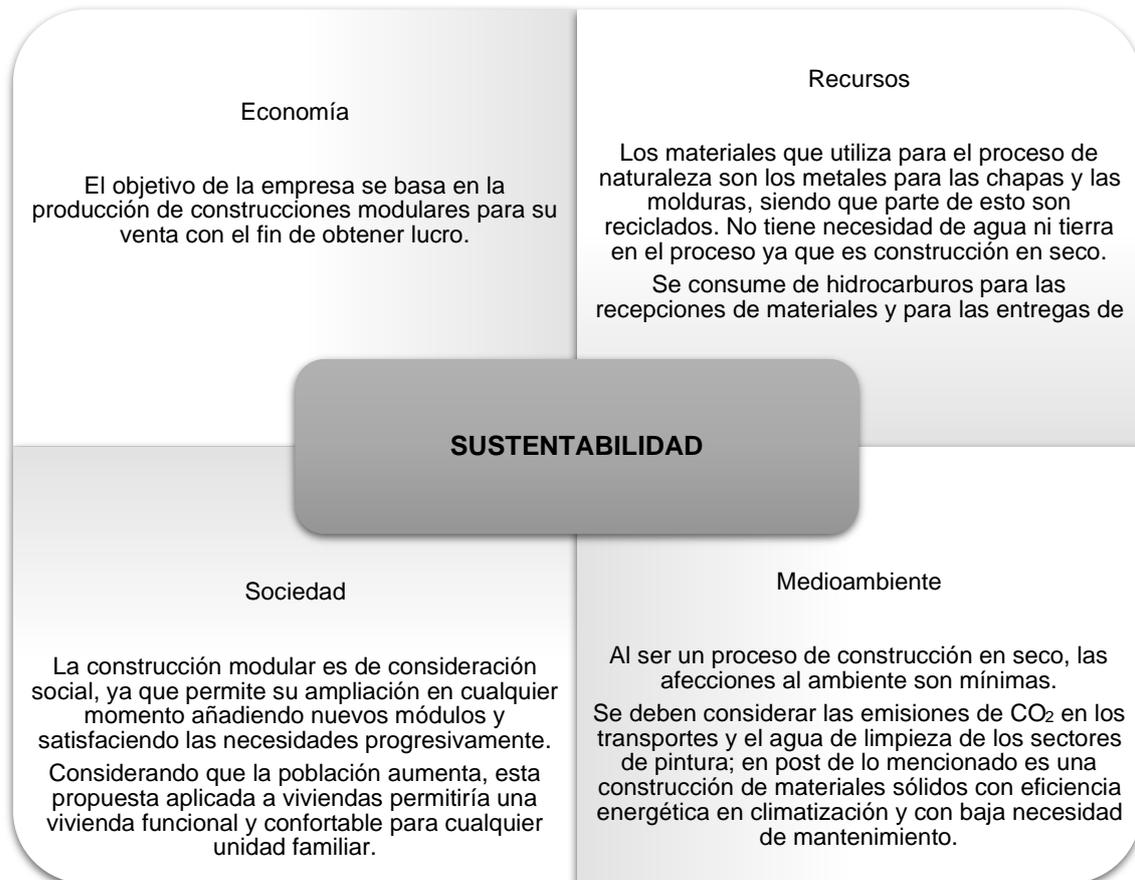


Figura 3 – Matriz de Sustentabilidad de la construcción modular - Creación propia en SmartArt

Para mejorar aún más el proceso, se propone la evaluación de implementar otras prácticas como:

- la posibilidad de trabajar con proveedores locales para la fabricación de molduras o chapas dobladas para soldadura, agregando cláusulas de confidencialidad en el contrato y evitando los traslados de larga distancia y las demoras de las logísticas tercerizadas.
- cambiar a materiales con origen en reciclados, como lo son chapas ecológicas de tetra pack.
- considerar un sistema eléctrico a base de energía renovable, ya sea solar o eólica según la zona, para suministro propio.

Para finalizar, se considera de valor el estudio, desde la empresa, de un nuevo diseño donde las construcciones se trasladan de manera plegada y se despliegan en el lugar de necesidad solicitada. Es decir, la empresa actualmente transporta 1 unidad modular por transporte, lo que busca es transportar 4 unidades por transporte.

<i>Actualidad</i>	<i>Modificación</i>
1 unidad – 1 emisión CO ₂ (transporte)	4 unidad – 1 emisión CO ₂ (transporte)
4 unidad – 4 emisión CO ₂ (transporte)	1 unidad – 0.25 emisión CO ₂ (transporte)

Con esta modificación, se utilizará solo los recursos de un transporte y se tendrían 4 módulos, con lo cual se emitirían un 75% menos de CO₂ al ambiente, generando un nuevo punto de aporte a la sustentabilidad.

4. CONCLUSIONES

De acuerdo con el abordaje de la investigación, se puede decir que los sectores acotados de la cadena de suministro de una empresa de construcción en seco deben considerar acciones en su cotidianeidad para aportar tanto a la integración como a la sustentabilidad ambiental.

En las respuestas de los tres procesos estudiados, se puede evidenciar una relación entre los mismos. Por ejemplo: en aprovisionamiento de destaca el trabajo con proveedores para disminuir las tareas de fabricación dando menos residuos, también allí se puede ver como la realización de contratos y el cumplimiento de las partes haciendo que los stocks sean mínimos, se encuentran al aire libre, lo que disminuye costos económicos de mantener material inmovilizado y posibilidades de agrupamiento de roedores y otros insectos que contraigan enfermedades al recurso humano. Con esto se tiene un primer indicio que la cadena de suministro se encuentra integrada a nivel interno, siendo este el primer paso a considerar.

En el proceso de aprovisionamiento se evidencia que la relación con proveedores analizados es de carácter de socio, ya que su material es indispensable para el avance de la producción. Se considera favorable la realización de contratos y el trabajo en conjunto al diseñar los productos, estas acciones aportan a la madurez del sistema, espejando sus consecuencias en la fabricación y la economía de los actores, y a la sustentabilidad ya que los residuos se reducen al máximo por no realizar cortes ni uniones innecesarias. Con esto se tiene a primer indicio que la cadena de suministro se encuentra a niveles de integración medios, ya que tiene valiosos vínculos no contando con evaluación de proveedores.

5. AGRADECIMIENTOS

La autora de este trabajo desea agradecer a l Consejo Interuniversitario Nacional (CIN) por su beca de estímulo a las vocaciones científicas 2021, a la Facultad de Ingeniería de la ciudad de Olavarría por su aporte académico, a la docente Claudia Rohvein por su tutela en esta investigación y a la docente Geraldina Roark por su aporte al trabajo. Agradece también a la empresa y sus profesionales por el recibimiento y el aporte de información para poder avanzar.

Habiendo logrado una meta personal, la autora desea destacar el agradecimiento a su familia que acompañó y dio ánimos durante todo el proceso; destacando el valor de que con esfuerzo se puede llegar lejos. Gracias por la confianza.

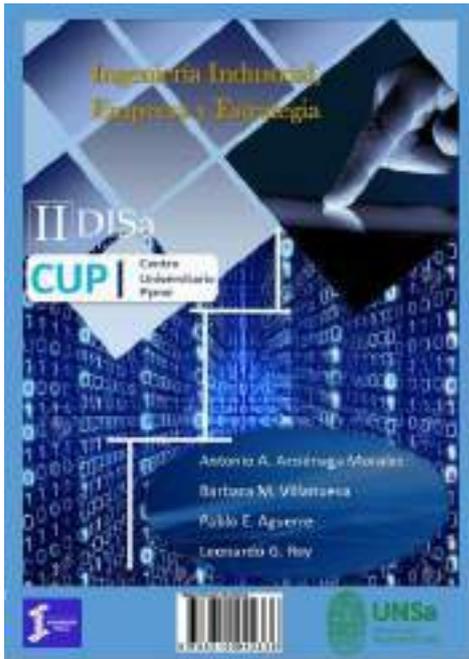
*“Las raíces de los verdaderos logros, residen en la voluntad
de convertirse en lo mejor que puedas llegar a ser”*

Harold Taylor

6. REFERENCIAS

- Bowersox, D. J. (1996). Logistical management: The integrated supply chain process. McGraw-Hill.
- Chopra, S. (2020). Administración de la cadena de suministro: estrategia, planeación y operación. Ecodiseño.
- Christopher, M. (1998). Logistics and Supply Chain Management. Strategies for reducing cost and improving service, 2nd ed. London: London et al.
- Croom Simon, R. P. (2000). Supply chain management: an analytical framework for critical literature review. European Journal of Purchasing & Supply Management 6. 67-83.
- LA, M. G. (2011). Gestión de Logística Integral: Las mejores prácticas en la cadena de abastecimiento. Starbook Editorial.

- Li, S. R.-N.-N. (2006). The impact of supply chain management practices on competitive advantage and organizational performance. Omega.
- Lopez Perez, M. D. (2017). Identificación de residuos industriales: UF 0287. Madrid, España: CEP, S.L.
- Panceri, J. (2021). Sustentabilidad: economía, desarrollo sustentable y medioambiente. Editorial Biblos.
- R., B. (2004). Logística. Administración de la cadena de suministro. México: Pearson Educación.
- R., Y. (2014). Case study research: design and methods. 5th ed. Thousand Oaks. US: Sage Publication.
- Röglinger M., P. J. (n.d.). Maturity models in business process management. Management Journal.
- Sampieri Hernandez, R. (2014). Metodología de la investigación. McGraw Hill Education.
- Tracey, M. V. (1999). Manufacturing technology and strategy formulation: Keys to enhancing competitiveness and improving performance. Operations Management.



Ingeniería Industrial: Evolución, Empresa y Estrategia

Autores: Antonio A. Arciénaga Morales

Bárbara M. Villavueva

Pablo E. Aguerre

Leonardo G. Rey

Editorial: IIDISA y CUP (Argentina)

ISBN: 978-631-00-4233-6

Primera edición 2024

Descargue la obra [AQUÍ](#)

Gallegos, María Julia

mgallegos@frsn.utn.edu.ar

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional San Nicolás (Argentina)

Morcela, Oscar Antonio

omorcela@fi.mdp.edu.ar

Universidad Nacional de Mar del Plata (Argentina)

Fecha de recepción RIII: 24/08/2024

Fecha de aprobación RIII: 27/10/2024

RESUMEN

El primer Capítulo desenvuelve la perspectiva de la evolución de la ingeniería industrial, con el propósito de comprender los supuestos y las bases conceptuales e instrumentales, sobre las cuales se dio el desarrollo histórico de la misma.

En el segundo Capítulo se avanza en la comprensión de la empresa, como base para poder aplicar eficazmente conocimientos y herramientas sobre procesos, sistemas y datos.

El tercer Capítulo aborda la cuestión de la estrategia y la planificación estratégica para las organizaciones, como base central para orientar a las empresas dentro de su segmento competitivo, sobre todo en las claves para obtener ventajas competitivas.

Al final, a modo de epílogo, los autores Dr. Ing. Antonio A. Arciénaga Morales (UNSA), Dra. Ing. Bárbara M. Villanueva (UNSA), Mg. Ing. Pablo E. Aguerre (UNLZ-UPE) y el Ing. Leonardo G. Rey (UNLZ), destacan algunos aportes para la discusión de la orientación de la carrera de Ingeniería Industrial: eco-eficiencia y economía circular, las meta-organizaciones y nuevos enfoques de la empresa, los impactos de la inteligencia artificial en los procesos de toma de decisiones, y la transformación digital en las organizaciones.

Palabras Claves: Ingeniería Industrial, Planificación Estratégica, Transformación Digital.

Industrial Engineering, Enterprise, and Strategy

Authors: Arciénaga Morales, Antonio A., Villanueva, Bárbara M., Aguerre Pablo E. y Rey, Leonardo G.

Publisher: IIDISA y CUP (Argentina)

ABSTRACT

The first chapter develops the perspective of the evolution of industrial engineering, aiming to understand the assumptions and the conceptual and instrumental foundations upon which its historical development was based.

The second chapter progresses in understanding the concept of the company, establishing a basis to effectively apply knowledge and tools related to processes, systems, and data.

The third chapter addresses the issue of strategy and strategic planning for organizations, providing a central foundation to guide companies within their competitive segment, particularly with insights for gaining competitive advantages.

Finally, as an epilogue, the authors Dr. Antonio A. Arciénaga Morales (UNSA), Dr. Bárbara M. Villanueva (UNSA), Mg. Pablo E. Aguerre (UNLZ-UPE), and Eng. Leonardo G. Rey (UNLZ) highlight some contributions to the discussion on the direction of the Industrial Engineering program: eco-efficiency and circular economy, meta-organizations and new approaches to the company, the impacts of artificial intelligence on decision-making processes, and digital transformation within organizations.

Keywords: Industrial Engineering, Strategic Planning, Digital Transformation

Engenharia Industrial, Empresa e Estratégia

Autores: Arciénaga Morales, Antonio A., Villanueva, Bárbara M., Aguerre Pablo E. y Rey, Leonardo G.

Editora: IIDISA y CUP (Argentina)

RESUMO

O primeiro capítulo desenvolve a perspectiva da evolução da engenharia industrial, com o objetivo de compreender os pressupostos e as bases conceituais e instrumentais sobre as quais se deu o seu desenvolvimento histórico.

O segundo capítulo avança na compreensão da empresa, estabelecendo uma base para aplicar eficazmente conhecimentos e ferramentas sobre processos, sistemas e dados.

O terceiro capítulo aborda a questão da estratégia e do planejamento estratégico para as organizações, fornecendo uma base central para orientar as empresas dentro de seu segmento competitivo, especialmente nas chaves para obter vantagens competitivas.

Por fim, em forma de epílogo, os autores Dr. Antonio A. Arciénaga Morales (UNSA), Dra. Bárbara M. Villanueva (UNSA), Mg. Pablo E. Aguerre (UNLZ-UPE) e Eng. Leonardo G. Rey (UNLZ) destacam algumas contribuições para a discussão da orientação do curso de Engenharia Industrial: ecoeficiência e economia circular, meta-organizações e novos enfoques para a empresa, os impactos da inteligência artificial nos processos de tomada de decisão e a transformação digital nas organizações.

Palavras chave: Engenharia Industrial, Planejamento Estratégico, Transformação Digital

“Ingeniería Industrial: Evolución, Empresa y Estrategia” es un libro que ofrece un recorrido exhaustivo sobre la evolución, los fundamentos y las aplicaciones actuales de la ingeniería industrial, consolidándose como una referencia para profesionales y estudiantes de la disciplina. La obra es estructurada en tres capítulos fundamentales, cada uno de ellos abordando temas clave para comprender y aplicar la ingeniería industrial en el contexto contemporáneo.

El primer capítulo es una exploración de la evolución histórica de la ingeniería industrial. Este enfoque retrospectivo es esencial para comprender los fundamentos y los supuestos que sustentan las prácticas actuales en esta área. La ingeniería industrial ha experimentado transformaciones significativas a lo largo de los siglos, evolucionando desde las primeras organizaciones de producción en masa hasta la integración de la Industria 4.0. El análisis histórico permite a los lectores entender cómo surgieron las herramientas y métodos que actualmente utilizamos, tales como la organización científica del trabajo desarrollada por Frederick Taylor y el modelo de producción en línea de Henry Ford, que revolucionaron la eficiencia y la productividad industrial.

Además de ofrecer una visión detallada de cada etapa de la evolución industrial, el capítulo contextualiza estos avances en el entorno de la cuarta revolución industrial, caracterizada por la digitalización, la automatización avanzada y la integración de tecnologías como la inteligencia artificial y el Internet de las cosas (IoT). Esta última etapa plantea nuevos retos y oportunidades, exigiendo que los ingenieros industriales se adapten a un entorno de producción cada vez más complejo e interconectado. Así, el capítulo invita a reflexionar sobre cómo los conocimientos acumulados de la ingeniería industrial siguen siendo relevantes y adaptables en un mundo digitalizado y en constante cambio.

El segundo capítulo se enfoca en la conceptualización de la empresa, un tema crucial para la práctica de la ingeniería industrial. Este capítulo profundiza en los componentes fundamentales de las organizaciones empresariales, tales como la misión, visión, estructura organizacional y funciones básicas, como elementos esenciales para implementar eficazmente herramientas y procesos de ingeniería industrial. El análisis organizacional se extiende a la comprensión de la empresa desde varias perspectivas, incluyendo la empresa como sistema, como institución y como actor económico, lo cual permite una visión integral de su rol en la economía y en la sociedad.

Los autores también abordan cómo las empresas deben adaptarse al paradigma de la Industria 4.0, donde la transformación digital y la inteligencia artificial están redefiniendo la estructura organizativa y los procesos internos. En este sentido, el capítulo no solo ofrece un análisis teórico, sino que también proporciona herramientas prácticas y modernas que permiten a los ingenieros industriales entender y gestionar la complejidad de las organizaciones actuales. Esta comprensión es vital, ya que el éxito de la ingeniería industrial depende en gran medida de su capacidad para integrarse en la estructura de la empresa y adaptarse a sus necesidades específicas.

El tercer capítulo está dedicado a la estrategia y planificación estratégica en las organizaciones, aspectos fundamentales para lograr una ventaja competitiva en el mercado. La estrategia empresarial es un campo de estudio que ha ganado importancia en el ámbito de la ingeniería industrial, especialmente en un contexto de globalización y alta competencia. Los ingenieros industriales desempeñan un papel esencial en el desarrollo de estrategias que permitan a las empresas adaptarse rápidamente a los cambios del entorno, optimizar sus operaciones y utilizar sus recursos de manera eficiente.

Este capítulo explora diversos enfoques de la estrategia, como el análisis FODA, la teoría de los recursos y capacidades, y el análisis de las cinco fuerzas de Porter. Estos modelos ofrecen a los ingenieros industriales un marco teórico para entender el entorno competitivo y diseñar estrategias efectivas para las organizaciones. Además, se destacan herramientas de planificación estratégica específicas, como el análisis PESTEL y el Hoshin Kanri, que facilitan la implementación y el seguimiento de las estrategias en

las empresas. Estos métodos ayudan a alinear los objetivos de la organización con sus capacidades y recursos, asegurando que las decisiones estratégicas estén respaldadas por un análisis riguroso y una planificación detallada.

En el epílogo, los autores —Dr. Ing. Antonio A. Arciénaga Morales, Dra. Ing. Bárbara M. Villanueva, Mg. Ing. Pablo E. Aguerre y el Ing. Leonardo G. Rey— reflexionan sobre los desafíos futuros de la ingeniería industrial, proponiendo temas de discusión como la eco-eficiencia, la economía circular y el impacto de la inteligencia artificial. Estos temas no solo representan tendencias emergentes, sino también áreas críticas donde la ingeniería industrial puede contribuir significativamente a la sostenibilidad y competitividad empresarial.

La economía circular, por ejemplo, es un concepto clave en este contexto, ya que busca reducir los residuos y maximizar el uso de los recursos mediante el diseño de sistemas de producción más sostenibles. La inteligencia artificial, por otro lado, está transformando la toma de decisiones en las organizaciones, proporcionando a los ingenieros industriales herramientas avanzadas para analizar datos, predecir resultados y optimizar procesos. Los autores también mencionan las meta-organizaciones y nuevos modelos empresariales, que representan un cambio de paradigma en la gestión de las empresas y en la colaboración interorganizacional, abriendo nuevas oportunidades para la innovación y la mejora continua.

Conclusión

Esta obra no solo es un manual para estudiantes y profesionales de la ingeniería industrial, sino también un análisis crítico de las bases teóricas y prácticas de la disciplina. Al recorrer la evolución histórica, la conceptualización de la empresa y el desarrollo de la estrategia empresarial, el libro ofrece una visión completa y actualizada de la ingeniería industrial en el contexto actual. Además, los temas emergentes tratados en el epílogo destacan la importancia de una perspectiva interdisciplinaria y sostenible, subrayando el papel de la ingeniería industrial en la construcción de un futuro más eficiente y sustentable.

Sin duda estamos frente a una valiosa contribución para aquellos interesados en comprender los desafíos y oportunidades que enfrenta la ingeniería industrial en un mundo cada vez más digitalizado y globalizado.

1. REFERENCIAS

Arciénaga Morales, Antonio A., Villanueva, Bárbara M., Aguerre Pablo E. y Rey, Leonardo G. (2024). *Ingeniería Industrial, Empresa y Estrategia*. Salta: IIDISA y CUP. Argentina: Disponible en: https://drive.google.com/file/d/1XquwH0_sLzTOTwxgDajOl8hF4585Vn9/view?usp=sharing