

INGENIERÍA

INDUSTRIAL





INGENIERÍA INDUSTRIAL

Ingeniería Industrial
Revista de la Facultad de Ingeniería
de la Universidad de Lima
Carrera de Ingeniería Industrial
Número 49, diciembre del 2025
doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2025.n049.8397>

DIRECTOR

Marcos Fernando Ruiz-Ruiz, Universidad de Lima, Perú
<https://orcid.org/0000-0001-5147-8512>

EDITORA

María Teresa Noriega-Araníbar, Universidad de Lima, Perú
<https://orcid.org/0000-0001-6824-1415>

EDITOR ASOCIADO

Edilberto Miguel Avalos Ortecho, Universidad de Lima, Perú
<https://orcid.org/0000-0003-0939-634X>

ASISTENTE EDITORIAL

Alexandra Ariana Solar Arenas

© Universidad de Lima
Fondo Editorial
Av. Javier Prado Este 4600
Urb. Fundo Monterrico Chico
Santiago de Surco, Lima, Perú
Código postal 15023
Teléfono (511) 437-6767, anexo 30131
fondoeditorial@ulima.edu.pe
www.ulima.edu.pe

Edición, diseño, diagramación y carátula: Fondo Editorial de la Universidad de Lima

Publicación semestral

Los trabajos firmados son de responsabilidad de los autores.

Ingeniería Industrial se publica bajo la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY)

ISSN 2523-6326 (en línea)

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú n.º 2020-08605

COMITÉ EDITORIAL

Gabriela Laura Gallardo, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Argentina
<https://orcid.org/0000-0003-1426-8430>

Wilfredo Román Hernández Gorriti, Universidad de Lima, Perú
<https://orcid.org/0000-0002-6122-4935>

Silvia Ponce Álvarez, Universidad de Lima, Perú
<https://orcid.org/0000-0003-1583-7113>

José Luis Zayas-Castro, University of South Florida, Estados Unidos
<https://orcid.org/0000-0001-7374-3479>

Marcos Leandro Silva Oliveira, Universidad de la Costa, Colombia
<https://orcid.org/0000-0002-7771-5085>

Hugo Romero-Bonilla, Universidad Técnica de Machala, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-7846-0512>

Neyfe Sablón-Cossío, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-6691-0037>

Marco Antonio Díaz Martínez, Tecnológico Nacional de México, México
<https://orcid.org/0000-0003-1054-7088>

Clara Inés Pardo Martínez, Universidad del Rosario, Colombia
<https://orcid.org/0000-0002-8556-319X>

COMITÉ CIENTÍFICO

Dra. Ruth Isabel Murrugarra Munares, Universidad Adolfo Ibáñez, Chile
<https://orcid.org/0000-0002-7043-7983>

Dr. Igor Lopes-Martínez, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cuba
<https://orcid.org/0000-0002-1249-8833>

Dra. Maria Julia Brunette, The Ohio State University, Estados Unidos
<https://orcid.org/0000-0001-7932-5964>

Dra. María Lau, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú
<https://orcid.org/0000-0001-9058-7789>

Dr. Fabricio Paredes-Larroca, Universidad de Lima, Perú
<https://orcid.org/0000-0001-8857-9253>

Dr. Alberto Edel León, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina
<https://orcid.org/0000-0002-2260-3086>

Dr. Alexandre Carlos Brandão Ramos, Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Brasil
<https://orcid.org/0000-0001-8844-5116>

Dra. Martha Ruth Manrique Torres, Pontificia Universidad Javeriana, Colombia
<https://orcid.org/0000-0002-3870-4965>

Dr. Yonni Angel Cuero-Acosta, Universidad del Rosario, Colombia
<https://orcid.org/0000-0001-9565-3968>

Dr. Lei Zhao, Tsinghua University, China
<https://orcid.org/0000-0002-1028-9632>

Dr. Iara Tammela, Universidade Federal Fluminense, Brasil
<https://orcid.org/0000-0002-8914-6326>

Dra. Marcela Amaro Rosales, Universidad Nacional Autónoma de México Instituto de Investigaciones Sociales, México
<https://orcid.org/0000-0002-1647-8901>

Dr. Felipe Schoemer Jardim, Universidade Federal Fluminense, Brasil
<https://orcid.org/0000-0001-9066-887X>

Dr. Hector Enrique Gonzales Mora, Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú
<https://orcid.org/0000-0002-8455-3432>

Dr. Daniel Eduardo Lazo Martinez, Curtin University, Australia
<https://orcid.org/0000-0003-1757-5444>

Dr. Gibrán Sayeg Sánchez, Tecnológico de Monterrey, México
<https://orcid.org/0009-0009-6694-6142>

Dr. Wilfredo Yushimito, Instituto Politécnico Rensselaer, Estados Unidos
<https://orcid.org/0000-0002-5528-2477>

Dra. Carmen Pérez-Camino, Universidad de Sevilla, España
<https://orcid.org/0000-0001-7652-9582>

Dr. S. Nallusamy, Jadavpur University, India
<https://orcid.org/0000-0003-1446-3332>

Dr. Joaquín Julián Pastor Pérez, Universidad Miguel Hernández, España
<https://orcid.org/0000-0002-3065-2494>

COMITÉ EVALUADOR

| | |
|----------------------------------|---|
| Ana María Almandoz Nuñez | Universidad de Lima, Perú |
| David Luviano-Cruz | Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México |
| Edilberto Miguel Avalos Ortecho | Universidad de Lima, Perú |
| Edwin Alberto Garavito Hernández | Universidad Industrial de Santander, Colombia |
| Fabrizio Paredes Larroca | Universidad de Lima, Perú |
| Fiorella Capcha Sánchez | Universidad de Lima, Perú |
| Gustavo Gatica | Universidad Andrés Bello, Chile |
| Herman Orlando Enderica Armijos | Universidad Técnica de Machala, Ecuador |
| Iara Tammela | Universidade Federal Fluminense, Brasil |
| Jorge Alberto García Fajardo | Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, México |
| Jorge Antonio Corzo Chávez | Universidad de Lima, Perú |
| Jorge Luis García-Alcaraz | Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México |
| José Alberto Benítez-Andrades | Universidad de León, España |
| Jose Alonso Caballero Márquez | Universidad Industrial de Santander, Colombia |
| José Antonio Marmolejo-Saucedo | Universidad Autónoma de Nuevo León, México |
| José Antonio Taquíá Gutiérrez | Universidad de Lima, Perú |

| | |
|-----------------------------------|---|
| José Guillermo Félix Lugo | Universidad Federal de Kazán, Rusia |
| Jordi Fortuny-Santos | Universidad Politécnica de Cataluña, España |
| Juan Manuel Quintero Ramírez | Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, México |
| Juan Pedro Solano Fernández | Universidad Politécnica de Cartagena, España |
| Katherine Julieth Sierra Suárez | Universidad Industrial de Santander, Colombia |
| Kelvin Howard Pizarro Romero | Universidad Técnica de Machala, Ecuador |
| Liliana Avelar Sosa | Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México |
| Luis Asunción Pérez-Domínguez | Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México |
| Mario Alan Quiroz-Juárez | Universidad Nacional Autónoma de México, México |
| Mario Otero Mostacero | Universidad de Lima, Perú |
| María del Rocío Avila Gonzales | Universidad de Lima, Perú |
| Mauricio José Martínez Pérez | Universidad Industrial de Santander, Colombia |
| Merssy Luisa Quispe Velásquez | Universidad de Lima, Perú |
| Mirna Estarrón Espinosa | Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, México |
| Nicolás Francisco Salazar Medina | Universidad de Lima, Perú |
| Raquel Vera Velázquez | Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador |
| Raúl Eduardo Huarote Zegarra | Universidad Nacional de Ingeniería, Perú |
| Ricardo Alberto Aguilar Rodríguez | Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México |
| Roberto Romero López | Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México |
| Rodolfo Mosquera Navarro | Universidad Industrial de Santander, Colombia |
| Ruth Vásquez Rivas Plata | Universidad de Lima, Perú |
| Teresa María Garcés Cabrera | Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra, República Dominicana |

ÍNDICE

| | |
|---|-----|
| PRESENTACIÓN / FOREWORD | 11 |
| GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN / PRODUCTION MANAGEMENT | |
| Optimización de la gestión en empresas de consultoría mediante <i>lean office</i> para la reducción de retrabajos | 15 |
| <i>Daniela Regina Javier Gonzales, Alonzo Gusmaro Zapata Salazar, Elsie Violeta Bonilla Céspedes</i> | |
| Gestión del proceso de recepción, almacenaje y entrega de combustibles en la comercializadora de Matanzas | 42 |
| <i>Yasniel Sánchez Suárez, Jonathan Rodríguez Trujillo, Shayla Castelar Alfonso, Arialys Hernández Nariño</i> | |
| Implementación de herramientas de manufactura esbelta para la gestión de materiales en un almacén | 62 |
| <i>Arturo Realyvásquez Vargas, Brenda Michelle Castillo Ramirez, Jorge Luis García Alcaraz, Guadalupe Hernández Escobedo, José Roberto Díaz Reza</i> | |
| Interrelationship between Total Productive Maintenance, <i>Jidoka</i> and Economic Sustainability: Empirical Validation of an Integrated Conceptual Model | 87 |
| <i>Jorge Luis García Alcaraz, Jorge Limón Romero, Juan Carlos Quiroz Flores, Yolanda Báez López, Arturo Realyvásquez Vargas</i> | |
| CALIDAD Y MEDIOAMBIENTE / QUALITY AND ENVIRONMENT | |
| Ciclo de mejora continua aplicado al área de <i>marketing</i> digital de la Cámara de Comercio de la ciudad de Guasave, Sinaloa | 109 |
| <i>Xóchitl Patricia Flores Gutiérrez, José Antonio Sandoval Acosta, Mara del Rosario López Rodríguez, Dayra Flores Zavala</i> | |

| | |
|---|------------|
| Modelo de gestión para reducir los costos de la no calidad con la metodología <i>lean six sigma</i>, en convertidoras de papel tisú | 138 |
| <i>Daniel Alberto Chirinos Magallanes, Jorge Enrique Ortiz Porras, Ronald David Chirinos Magallanes, Israel Román Vásquez Cerquera</i> | |
| INGENIERÍA DE NEGOCIOS / BUSINESS ENGINEERING | |
| Gestión de activos intangibles psicosociales en el sector financiero cubano 2024: un enfoque estratégico basado en un modelo conceptual | 165 |
| <i>Naivi Montané Marsal, Armando Cuesta Santos</i> | |
| Impacto del <i>balanced scorecard</i> en la competitividad de las pymes: una revisión sistemática de la literatura internacional entre 2019 y 2024 | 191 |
| <i>David Uribe Suárez, Amanda Rafaela Gómez Herrera</i> | |
| CIENCIA Y TECNOLOGÍA / SCIENCE AND TECHNOLOGY | |
| Predicting Employee Turnover Using Applied Machine Learning | 214 |
| <i>Marcos Antonio Albarracín Manrique</i> | |
| Bioenergy Valorization of Banana Peel Waste through Enzymatic Hydrolysis: A Circular Economy Case in Machala, Ecuador | 239 |
| <i>Hugo Romero Bonilla, Cristian Vega Quezada, Edgar Tinoco Galvez, Cristopher Choez Tobo</i> | |
| Indicadores para medir la adquisición de competencias en las primeras experiencias profesionales en ingeniería | 256 |
| <i>María Velia Artigas, Adolfo Eduardo Onaine, Luciana Soledad Santille</i> | |
| RETRACTACIÓN | 275 |

PRESENTACIÓN

Con gran satisfacción presentamos la edición 49 de la revista Ingeniería Industrial de la Universidad de Lima, un espacio que busca difundir investigaciones y experiencias que reafirman la vigencia y relevancia de nuestra disciplina en un mundo en constante transformación. En esta entrega, se compilan doce artículos que reflejan la diversidad de enfoques y la riqueza de la ingeniería industrial en distintos sectores y contextos. Desde México, Ecuador y Brasil hasta Argentina, Colombia, Cuba, China y Perú, los autores nos ofrecen miradas frescas y soluciones innovadoras a problemáticas de gestión, productividad, sostenibilidad y desarrollo humano.

Los trabajos aquí reunidos abarcan temáticas que ponen en valor el aporte de la ingeniería industrial a la sociedad: la optimización de procesos mediante metodologías como lean office, lean six sigma y manufactura esbelta; el fortalecimiento de la competitividad empresarial con herramientas como el balanced scorecard y el TPM; la incorporación de inteligencia artificial y aprendizaje automático para la gestión del talento humano; así como propuestas de economía circular y energías renovables que responden a la urgencia de un desarrollo más sostenible. Asimismo, se incluyen reflexiones sobre la formación de competencias profesionales y la gestión de intangibles psicosociales, lo que nos recuerda que la eficiencia no puede desligarse del factor humano.

Cada artículo, desde su particular enfoque, evidencia que la ingeniería industrial no se limita a la mejora de la eficiencia operativa, sino que también contribuye a la innovación organizacional, al bienestar de las personas y al cuidado del entorno. Agradecemos de manera especial al comité editorial y al comité científico por su dedicación, así como a los autores y revisores que, con su compromiso académico, hacen posible la consolidación de esta revista como un referente de investigación y reflexión en el campo de la ingeniería industrial.

Dr. Marcos Fernando Ruiz-Ruiz

Director

FOREWORD

It is with great satisfaction that we present Issue 49 of Industrial Engineering, the academic journal published by the School of Industrial Engineering at the University of Lima. This publication continues to provide a forum for the dissemination of research and professional practice that reaffirms the enduring relevance of industrial engineering in an era of constant transformation.

This issue features twelve articles that reflect the disciplinary diversity and intellectual richness of industrial engineering across a wide range of sectors and contexts. Contributions from Mexico, Ecuador, Brazil, Argentina, Colombia, Cuba, China, and Peru offer new perspectives and innovative approaches to challenges in management, productivity, sustainability, and human development.

The studies compiled here address key areas in which industrial engineering contributes to contemporary society: process optimization through methodologies such as lean office, lean six sigma, and lean manufacturing; the enhancement of organizational competitiveness using tools such as the balanced scorecard and total productive maintenance; and the integration of artificial intelligence and machine learning into human resource management. Several papers also explore circular economy models and renewable energy initiatives that respond to the growing demand for sustainable development. In addition, discussions on professional competencies and psychosocial factors highlight the essential connection between efficiency and the human dimension of organizations.

Collectively, these contributions demonstrate that industrial engineering extends beyond operational efficiency to encompass organizational innovation, human well-being, and environmental responsibility. We express our gratitude to the editorial and scientific committees for their continued dedication, and to the authors and reviewers whose scholarly commitment has consolidated this journal as a reference point for research and reflection in the field of industrial engineering.

Dr. Marcos Fernando Ruiz-Ruiz

Director

**GESTIÓN
DE LA PRODUCCIÓN**

Production Management

OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN EN EMPRESAS DE CONSULTORÍA MEDIANTE *LEAN OFFICE* PARA LA REDUCCIÓN DE RETRABAJO

DANIELA REGINA JAVIER GONZALES*
<https://orcid.org/0009-0004-6810-7055>
Facultad de Ingeniería,
Universidad de Lima, Perú

ALONZO GUSMARO ZAPATA SALAZAR
<https://orcid.org/0009-0000-1503-8608>
Facultad de Ingeniería,
Universidad de Lima, Perú

ELSIE VIOLETA BONILLA PASTOR
<https://orcid.org/0000-0001-6430-1935>
Facultad de Ingeniería,
Universidad de Lima, Perú

Recibido: 30 de mayo del 2025 / Aceptado: 10 de julio del 2025

Publicado: 19 de diciembre del 2025

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2025.n049.7951>

RESUMEN. En el Perú, el sector servicios emplea al 43 % de la población económicamente activa (PEA), lo que evidencia su importancia en la economía nacional. La presente investigación propone un modelo de gestión basado en herramientas de *lean office* para reducir la tasa de retrabajos en una pyme de consultoría especializada en planificación de recursos empresariales (ERP). Se emplea una metodología mixta, que incluye análisis de servicios, entrevistas con ejecutivos y simulaciones en Arena. Los resultados proyectan una reducción del retrabajo del 75 % al 25 % y una mejora del 30 % en los tiempos de entrega. Entre las principales causas raíz identificadas destacan errores en la propuesta técnica, deficiencias en la programación de tareas y defectos en los entregables. La propuesta

Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

* Autor corresponsal.

Correos electrónicos en orden de aparición: 20192932@aloe.ulima.edu.pe; 20193688@aloe.ulima.edu.pe; ebonilla@aloe.ulima.edu.pe

Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

incluye la estandarización de procedimientos basada en los lineamientos de PMBOK y la implementación de la herramienta 5S en entornos digitales, que orientan la gestión hacia la mejora continua, eficiencia operativa y calidad del servicio.

PALABRAS CLAVE: gestión de proyectos / manufactura esbelta / consultorías / pequeñas y medianas empresas / normalización

OPTIMIZATION OF MANAGEMENT IN CONSULTING COMPANIES THROUGH LEAN OFFICE TO REDUCE REWORK

ABSTRACT. In Peru, the service sector employs 43 % of the economically active population (EAP), demonstrating its importance to the national economy. This research proposes a management model based on Lean Office tools to reduce the rework rate in a consulting SME specializing in ERP. A mixed methodology is used, including service analysis, interviews with executives, and Arena simulations. The results project a reduction in rework from 75 % to 25 % and a 30 % improvement in delivery times. The main root causes identified include errors in the technical proposal, deficiencies in task scheduling, and defects in deliverables. The proposal includes the standardization of procedures based on PMBOK guidelines and the implementation of the 5S tool in digital environments, guiding management toward continuous improvement, operational efficiency, and service quality.

KEYWORDS: project management / lean manufacturing / consulting firms / small business / standardization

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP) permiten la gestión integrada de los procesos clave de una empresa y con ello se mejora la eficiencia operativa (Haro et al., 2023). Por su parte, Correal Rodríguez (2021) señala que este sistema facilita la administración en tiempo real de áreas clave como finanzas, contabilidad, producción y recursos humanos, lo que beneficia a las compañías en el incremento de productividad y reducción de errores (Caceda Ugaz, 2022).

No obstante, a pesar de los diversos beneficios que ofrecen los sistemas ERP, su implementación en diferentes empresas no siempre se traduce en mejoras efectivas. Diversos estudios evidencian que su gestión inadecuada incrementa los errores y retrabajos, lo que deteriora la experiencia del cliente y disminuye tanto su confianza como la reputación de la empresa (Zheng & Kim, 2023).

Esta situación se refleja en la empresa en estudio, donde los indicadores clave de desempeño (KPI) evidencian deficiencias significativas. Primero, el Net Promoter Score (NPS) de la empresa fue del 39 % en 2023, considerablemente inferior al 77 % del sector (Project Management Institute & PWC, 2022), lo que resalta la necesidad de mejorar la experiencia del cliente y reducir errores en los entregables. Luego, el indicador de línea de desarrollo de los consultores alcanzó el 48 %, superando el promedio sectorial (46 %), pero aún lejos de la meta interna del 70 %, lo que indica deficiencias en la capacitación (Guerrero Yesan et al., 2023). Finalmente, el índice de desempeño de proyectos (SPI) fue del 80 % ($\geq 0,95$), inferior al 85 % del sector (Project Management Institute & PWC, 2022); esta brecha se debe a errores en la implementación del ERP, que elevaron la tasa de quejas al 57 %, muy por encima del 10 % del sector (Deloitte, s. f.).

Estos resultados evidencian la necesidad de adoptar enfoques complementarios que optimicen la operación y reduzcan la variabilidad en los entregables. Una de las metodologías más eficaces aplicadas en entornos de servicios es el enfoque *lean office*, el cual ha demostrado ser altamente efectivo para mejorar la eficiencia y optimizar la gestión de procesos administrativos, incrementando la productividad y reduciendo los desperdicios que afectan negativamente los controles internos, los indicadores clave y la satisfacción del cliente.

El uso de herramientas *lean*, como la metodología 5S, el trabajo estandarizado y el *poka-yoke*, representa un pilar fundamental para mejorar la eficiencia y calidad en los procesos de empresas de servicios, especialmente en consultorías dedicadas a la implementación de sistemas ERP, donde la estandarización y la reducción de errores son esenciales para asegurar el cumplimiento de plazos, la satisfacción del cliente y la sostenibilidad del negocio. Su implementación no solo responde a una necesidad operativa, sino que contribuye al desarrollo de una cultura organizacional enfocada en la

mejora continua, la optimización de recursos y la reducción de desperdicios, lo que logra fortalecer la capacidad de empresas consultoras para responder de forma ágil, confiable y consistente a las crecientes exigencias del mercado actual.

Estas técnicas son especialmente relevantes en entornos donde la precisión en los entregables y la eficiencia operativa resultan determinantes. Según Antony et al. (2021), su implementación contribuye significativamente a la reducción de tiempos de espera y a la eliminación de errores costosos, factores críticos en el sector consultoría. Asimismo, Manzanares-Cañizares et al. (2022) resaltan que su uso no solo disminuye fallos operativos, sino que también impulsa una cultura organizacional orientada a la mejora continua. En este sentido, Kääriä y Shamsuzzoha (2024) subrayan que estas herramientas permiten estandarizar procesos y aumentar la confiabilidad de sus entregables, aspectos de suma importancia para elevar la competitividad y la calidad del servicio en empresas del rubro. En concordancia con lo anterior, Machado Campos e Souza et al. (2023) sostienen que la aplicación de *lean office* en entornos administrativos estandariza los flujos de trabajo y elimina actividades sin valor agregado. Asimismo, Ciano et al. (2020) plantean que la integración sistemática de tecnologías emergentes asociadas a la industria 4.0 con principios *lean* favorece la reconfiguración de los procesos operativos, permitiendo niveles superiores de eficiencia, adaptabilidad y sincronización en entornos digitalizados, visión complementada por Trebuna et al. (2023), quienes destacan que esta convergencia incrementa la flexibilidad y fortalece la capacidad de respuesta organizacional.

La calidad de los entregables es un factor crítico en el servicio de consultoría. Fazinga et al. (2019) advierten que la ausencia de procesos estandarizados y control de calidad genera variabilidad y errores frecuentes, mientras que Valdivia y Rivas (2021) identifican que varias pymes del sector enfrentan deficiencias en la elaboración de propuestas, insuficiencia de recursos técnicos y carencias en la aplicación de buenas prácticas de calidad.

Para abordar esta problemática, el *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK) establece buenas prácticas para gestionar proyectos que cumplan plazos, presupuestos y calidad. Según el Project Management Institute (2021), su enfoque en planificación, aseguramiento y control de calidad constituye un pilar fundamental para garantizar entregables sin errores. Además, Mc Farlane Olazabal (2022) enfatiza que su estructura permite a las consultoras gestionar eficientemente sus proyectos, mientras que Shahbaz y Shaikh (2019) destacan su importancia en la gestión de riesgos, expectativas y costos, que reducen retrabajos costosos.

Por otro lado, la implementación de 5S digitales optimiza el uso de tecnología en las organizaciones, mejorando el flujo de trabajo y eliminando desperdicios (Fazinga et al., 2019). En consultoría, esta metodología facilita la gestión documental, reduce los tiempos de búsqueda, incrementa la transparencia y minimiza errores. Este enfoque se refleja en

estudios que muestran cómo la combinación de herramientas *lean office* con tecnologías de la industria 4.0 mejora la estandarización de procesos y la eficiencia en entornos administrativos (Dos Santos et al., 2024). Herramientas digitales como Google Drive, Trello y Microsoft Teams permiten ordenar proyectos y tareas, lo que potencia la comunicación y eficiencia (Mc Farlane Olazabal, 2022). Por su parte, Valdivia y Rivas (2021) destacan que su adopción agiliza aprobaciones y mantiene la visibilidad sobre tareas, mientras que Shahbaz y Shaikh (2019) resaltan su impacto en la gestión del conocimiento, que facilita el acceso a información actualizada y estandarizada.

Además, la estandarización del trabajo permite establecer procedimientos definidos que minimizan la variabilidad operativa y la ocurrencia de errores, lo cual es esencial para garantizar la calidad en los procesos de consultoría (Cabrera et al., 2023). En complemento, la implementación de mecanismos de control a prueba de errores, como el *poka-yoke*, resulta crítica para mitigar fallas humanas y asegurar la conformidad de los entregables desde la primera iteración. Esta herramienta cobra particular relevancia en fases clave del proceso, tales como el diseño, la revisión técnica y la entrega final de propuestas (Shahbaz & Shaikh, 2019).

Con base en la revisión de la literatura y del diagnóstico inicial de la empresa de consultoría estudiada, se formulan las siguientes preguntas de investigación: ¿cuáles son las técnicas de gestión que pueden reducir la tasa de retrabajo en consultorías?, ¿cómo pueden las técnicas *lean* contribuir a reducir la tasa de retrabajos en una pyme de consultoría?

Para responder a las anteriores interrogantes, se analizará el proceso actual de consultoría para obtener un diagnóstico, seguido por el diseño de una propuesta de solución basada en las herramientas *lean* y principios del PMBOK. Posteriormente, se validará la propuesta mediante simulaciones y la medición de indicadores clave de desempeño. Finalmente, se evaluará la sostenibilidad económica de la implementación, considerando costos y beneficios a largo plazo derivados de la implementación de *lean*.

METODOLOGÍA

La metodología utilizada en la investigación es de enfoque cuantitativo y experimental, basado en el análisis de datos operativos, los KPI y las simulaciones, que busca evaluar el impacto de implementar un modelo de gestión para reducir la tasa de retrabajos. Se desarrolló en cuatro fases claramente definidas: diagnóstico del problema, diseño de solución, validación del modelo y evaluación de resultados.

En la primera etapa, el diagnóstico del problema se realizó mediante el análisis de KPI, tales como la tasa de quejas, el Net Promoter Score (NPS) y el índice de desempeño de proyectos (SPI). Para determinar las principales causas de la problemática se

emplearon herramientas como el diagrama de Ishikawa y el análisis de Pareto, lo que dio como resultado que los principales problemas radiquen en errores en la elaboración de propuestas técnicas, deficiencias en la programación de asignaciones y falta de calidad en los entregables.

A partir de los hallazgos obtenidos en la primera etapa, se procedió a diseñar una solución basada en el modelo de gestión de *lean office*, para lo cual se seleccionaron herramientas alineadas con las necesidades de la empresa, reforzado por la investigación realizada por Mancera (2020), quien evidenció mejoras en la eficiencia operativa al aplicar este enfoque en procesos administrativos. Entre ellas, se implementó la metodología 5S en el ámbito digital, con el propósito de mejorar la organización documental y reducir tiempos de búsqueda; el trabajo estandarizado basado en los estándares del PMBOK, con el fin de establecer procedimientos claros que minimicen la variabilidad en la entrega de servicios; y un sistema de gestión de proyectos (SGP), fundamentado en los estándares PMBOK, que permite una planificación más eficiente y un mejor control de tareas.

Para evaluar la efectividad de la propuesta, se llevó a cabo la validación del modelo mediante la simulación en el *software* Arena, complementada con una prueba piloto en la empresa objeto de estudio. Este enfoque se respalda en un estudio de Acosta-Ramírez et al. (2022), quienes aplicaron el ciclo DMAIC junto con herramientas pertenecientes a la metodología *lean* para identificar fallos críticos. El proceso de validación permitió analizar errores detectados en cada fase del servicio, tiempos de reprocesos asociados y el impacto de *lean office* en la eficiencia operativa.

La prueba piloto se diseñó bajo un enfoque experimental con un muestreo no probabilístico de tipo aleatorio simple, seleccionando un subconjunto representativo de los servicios de consultoría para evaluar la aplicabilidad y eficacia de las herramientas propuestas. El alcance del estudio incluyó la medición del desempeño en términos de reducción de reprocesos, la mejora en los tiempos de respuesta y el cumplimiento de estándares de documentación. En esta fase, participaron consultores y gestores especializados en la implementación de servicios. Las variables analizadas en la prueba piloto abarcaron el tiempo de búsqueda de información, la cantidad de errores por fase del proyecto y el grado de cumplimiento de los estándares de calidad en la documentación. Para la recopilación de datos, se utilizaron técnicas de observación directa, revisión documental y entrevistas estructuradas con los participantes del proceso.

En cuanto a la validación mediante simulación en Arena, se modelaron dos escenarios: el primero representó la situación actual sin intervención, en el que se analizaron los tiempos de ejecución y la incidencia de retrabajos; el segundo reflejó las condiciones mejoradas tras la implementación de las herramientas *lean*. La metodología de simulación se basó en un enfoque de eventos discretos, donde se definieron como entidades principales el cliente y el usuario ID, este último fue utilizado como identificador único para rastrear cada

servicio dentro del sistema. Las variables críticas incluyeron la carga de trabajo de los consultores, los tiempos de revisión de entregables y la cantidad de errores detectados en cada fase del proyecto. Para garantizar la validez estadística de la simulación, se estableció un número óptimo de réplicas con base en criterios de convergencia y estabilidad de los resultados. La ecuación empleada para este cálculo se presenta a continuación, seguida de la Tabla 1 que muestra los valores utilizados en la fórmula aplicada.

Fórmula para el cálculo de las réplicas:

$$N = N_o \times \left(\frac{H_o}{h}\right)^2$$

Tabla 1
Leyenda para el cálculo de la réplica

| Parámetro | Valor | Justificación |
|--|-------|--|
| Número mínimo de réplicas necesarias para el sistema (N) | X | Lo que se hallará como total de réplica |
| Número de réplicas preliminar (N _o) | 30 | Cantidad inicial de repeticiones de un experimento necesaria para evaluar la variabilidad y precisión de los datos |
| Margen de error (<i>half width</i>) (H _o) | 12,7 | Cantidad que indica el rango de incertidumbre en una estimación estadística debido a la variabilidad muestral |
| Margen de error deseable (h) | 12,07 | Nivel máximo de incertidumbre aceptable en una estimación estadística para garantizar la precisión y confiabilidad de los resultados |

A partir de esta fórmula, se determinó que 33 réplicas eran suficientes para asegurar la precisión en los datos de simulación.

Se aplicaron técnicas de análisis de sensibilidad y pruebas de hipótesis para evaluar la significancia de las mejoras obtenidas. Adicionalmente, se empleó la herramienta *output analyzer* para comparar los indicadores de ambos escenarios y validar la reducción de reprocesos, el incremento en la eficiencia operativa y la mejora en la calidad del servicio.

Finalmente, la evaluación de resultados permitió cuantificar el impacto de la solución implementada. Se compararon los indicadores antes y después de la implementación para medir la reducción de errores, utilizando el *output analyzer* y un *dashboard* de KPI que permitió visualizar las mejoras alcanzadas. Como resultado, se observó una reducción de la tasa de retrabajos del 75 % al 25 %, una optimización de los tiempos de ejecución en un 30 % y una disminución de los costos operativos en un 20 %.

La metodología aplicada permitió evidenciar que la integración de herramientas *lean* en el sector de consultoría ERP optimiza la gestión de procesos, reduce los desperdicios operacionales y mejora significativamente la calidad de los entregables, lo que beneficia tanto a la empresa como a sus clientes.

RESULTADOS

En esta sección, se presentan los hallazgos obtenidos a lo largo de las cuatro fases metodológicas: diagnóstico, diseño, validación y evaluación de resultados. Cada una de las fases ha proporcionado información clave para el desarrollo del estudio, lo que permite una comprensión progresiva y estructurada.

En la fase de diagnóstico, se identificó el servicio que genera mayor beneficio económico para la empresa tras la implementación del sistema ERP. A través del análisis ABC, se evaluó la población de servicios correspondiente al 2023, que incluyó un total de 92 servicios segmentados según las subáreas del departamento de consultoría: soporte, *outsourcing* e implementación y proyectos. Como resultado del análisis, se determinó que esta última subárea generó una ganancia total de S/3 570 298,63 en el 2023, y se posicionó como el de mayor impacto económico para la empresa.

El proceso de consultoría comprende cinco etapas clave: ejecución de preventas, planificación de servicios, ejecución de servicios, control y monitoreo, y cierre de servicios. Tras los hallazgos de los diversos análisis del presente estudio, se decidió centrar el diseño muestral exclusivamente en la subárea de implementación y proyectos, a fin de asegurar la relevancia de los datos obtenidos. A continuación, se procederá al cálculo del tamaño de la muestra a analizar.

Fórmula para el cálculo de la muestra:

$$n = \frac{N \times Z^2 \times p \times q}{d^2 \times (N - 1) + Z^2 \times p \times q}$$

Para asegurar la representatividad de los datos y la validez del estudio, se determinó el tamaño muestral aplicando la fórmula estadística previamente descrita. Esta permitió definir la cantidad de servicios de consultoría a analizar en función de la población total y los parámetros establecidos. Los valores utilizados en el cálculo se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2

Leyenda para el cálculo de la muestra

| Parámetro | Valor | Justificación |
|-----------------------------|-------|---|
| Población (N) | 15 | Total de servicios realizados por la subárea durante el 2023 |
| Nivel de confianza (Z) | 1,96 | Basado en metodologías estadísticas estándar para asegurar precisión |
| Muestra (n)w | X | Lo que se hallará como muestra de estudio |
| Probabilidad de éxito (p) | 0,5 | Basado en metodologías estadísticas estándar por máxima variabilidad |
| Probabilidad de fracaso (q) | 0,5 | Basado en metodologías estadísticas estándar asumiendo una distribución de probabilidad con máxima incertidumbre sobre el éxito |
| Error máximo (d) | 0,05 | Basado en metodologías estadísticas estándar para un equilibrio entre exactitud y tamaño muestral |

$$n = \frac{15 \times 1,96^2 \times 0,5 \times 0,5}{0,05^2 \times (15 - 1) + 1 - 96^2 \times 0,5 \times 0,5}$$

$n = 15 \text{ servicios}$

El tamaño calculado de la muestra dio un total de 15 servicios pertenecientes a la subárea de implementación y proyectos.

Para el proceso de diagnóstico, se emplearon diversas herramientas de recopilación y análisis de información, tales como el *SharePoint* organizacional de la compañía en estudio, los registros documentados de quejas y reclamos de clientes, las encuestas de satisfacción, los indicadores de seguimiento de proyectos, los cronogramas, las actas de reuniones de seguimiento, entre otros documentos de gestión relevantes.

Los criterios de inclusión y exclusión utilizados para seleccionar la muestra en estudio incluyeron los siguientes: el alcance del servicio ofrecido, el tamaño de la empresa en la que se implementó el sistema ERP, el cumplimiento íntegro de las cinco etapas del proceso de implementación y la existencia de registros documentados de quejas o reclamos asociados al servicio. Una vez definidos estos criterios, se realizó un análisis riguroso de los servicios registrados durante el 2023, lo que permitió identificar aquellos que cumplieran con todos los requisitos establecidos para su inclusión en el estudio. La Tabla 3 presenta un resumen de los servicios evaluados y su respectivo nivel de cumplimiento frente a los criterios aplicados.

Tabla 3

Lista de servicios que cumplieron con los criterios de inclusión y exclusión establecidos

| ID del ser- vicio | Cliente | Tamaño de la empresa | N.º de etapas de la implementación | Registro de quejas |
|----------------------|---------------|-------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| 200583 | PWC México | Mediana | 5 | Sí |
| 200473 | Interbank Em1 | Grande | 2 | Sí |
| 200516 | Credicorp | Mediana | 3 | No |
| 200494 | Komax | Mediana | 4 | Sí |
| 200571 | UPCH | Mediana | 5 | Sí |
| 200502N | Oracle Perú | Grande | 2 | Sí |
| 200537 | KPMG | Grande | 1 | No |
| 200561 | PromPerú | Pequeña | 2 | Sí |
| 200488N | Summa Gold | Mediana | 5 | Sí |
| 200531 | Paga Todo | Pequeña | 1 | No |
| 200582 | Smart Fit | Mediana | 3 | Sí |
| 200546 | Hiraoka | Mediana | 5 | Sí |
| 200519 | Interbank Em2 | Grande | 1 | Sí |
| 200549 | Casan | Mediana | 1 | No |
| 200370 | DATCO | Mediana | 5 | Sí |

Tras la evaluación de los servicios que cumplieron con los criterios de inclusión, se seleccionó una muestra final compuesta por cinco servicios de consultoría realizados durante el 2023. Estos fueron considerados representativos para el análisis debido a su cumplimiento íntegro de las cinco etapas del proceso de implementación y a la disponibilidad de documentación completa. La Tabla 4 presenta los cinco servicios seleccionados que formarán parte de la investigación.

Tabla 4

Lista de los servicios que cumplieron con los criterios de inclusión y exclusión establecidos

| ID del servicio | Cliente |
|-----------------|------------|
| 200583 | PWC México |
| 200571 | UPCH |
| 200488N | Summa Gold |
| 200546 | Hiraoka |
| 200370 | DATCO |

A partir del análisis detallado de los cinco servicios seleccionados, se identificaron los principales motivos de quejas reportadas por los clientes. La Tabla 5 presenta un resumen

de estos motivos junto con su frecuencia de ocurrencia, lo que constituye la base para el análisis posterior de causas raíz.

Tabla 5
Resumen de los motivos de las quejas y su frecuencia de ocurrencia

| Motivos de quejas | Causa raíz | Frecuencia de ocurrencia de quejas de clientes | Frecuencia de ocurrencia de quejas de clientes (%) |
|--|--|--|--|
| Excesiva demora en responder al cliente (más de 2 semanas) | Deficiencia en la programación de asignaciones al equipo de consultoría | 5 | 16 % |
| Falta de comunicación eficiente con el cliente | Deficiencia en la programación de asignaciones al equipo de consultoría | 5 | 16 % |
| Sobrecarga de los gestores y consultores asignados al servicio | Deficiencia en la programación de asignaciones al equipo de consultoría | 5 | 16 % |
| Insuficiente análisis de los entregables por parte del equipo de consultoría | Falta de calidad/inadecuada elaboración de las propuestas técnicas y/o económicas de los proyectos | 4 | 13 % |
| Excesiva cantidad de errores al momento de pasar a producción (reprocesos) | Falta de calidad/inadecuada elaboración de las propuestas técnicas y/o económicas de los proyectos | 5 | 16 % |
| Solución lenta de los errores presentados (mínimo un mes) | Falta de calidad/inadecuada elaboración de las propuestas técnicas y/o económicas de los proyectos | 7 | 23 % |
| TOTAL | | 31 | 100 % |

Luego de aplicar el principio de Pareto, se priorizan las causas raíz identificadas, y se determina que las principales son la deficiencia en la programación de asignaciones del equipo de consultoría (40 %), la falta de calidad (68 %) y la elaboración inadecuada de las propuestas técnicas y/o económicas de los proyectos (53 %). Para facilitar la visualización de estas causas, se elaboró un diagrama de Ishikawa (ver Figura 1) y un árbol de problemas (ver Figura 2), los cuales permitieron categorizar los factores que contribuyen a los retrabajos y deficiencias en los servicios de consultoría.

Figura 1
Diagrama de Ishikawa

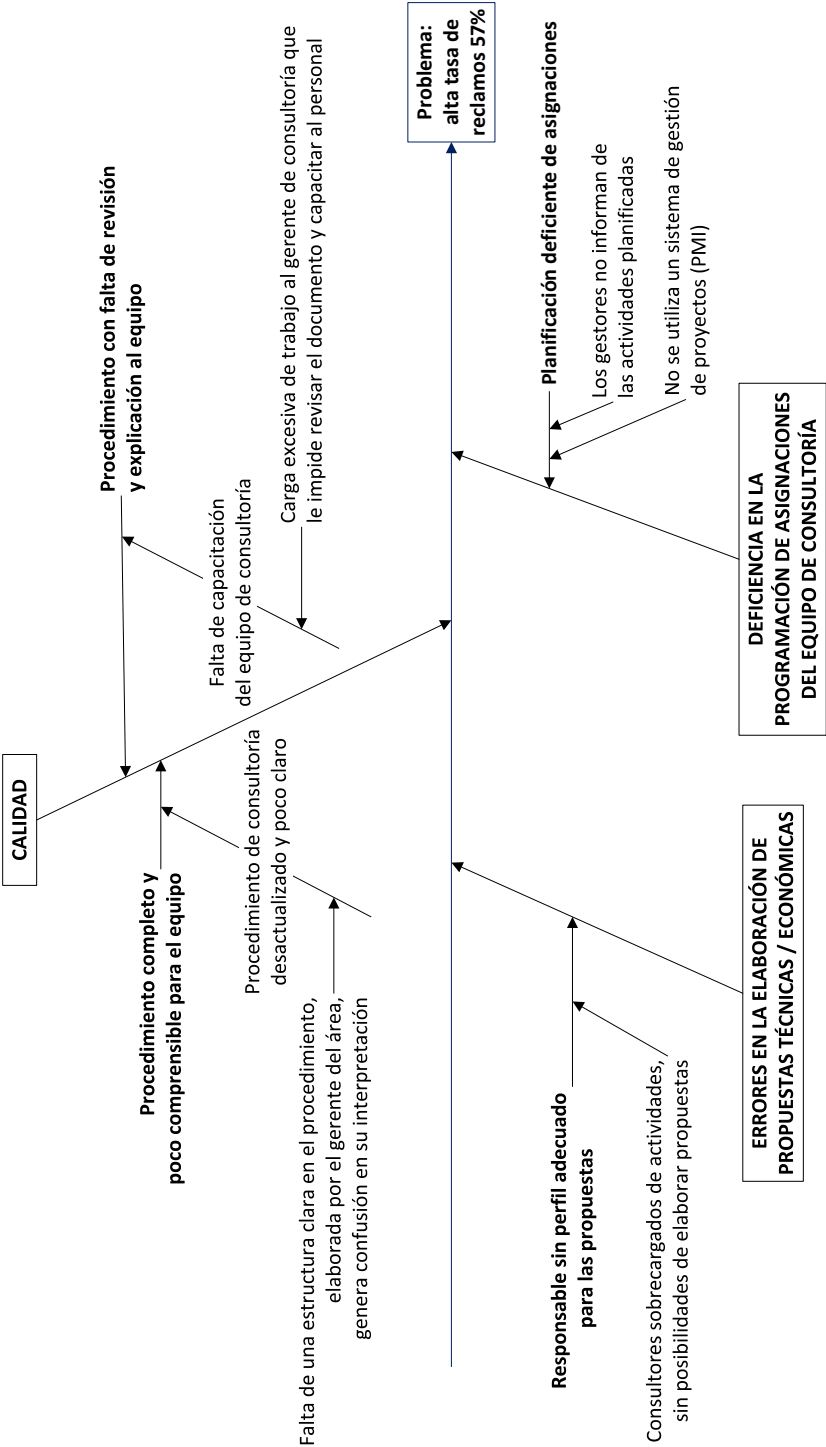
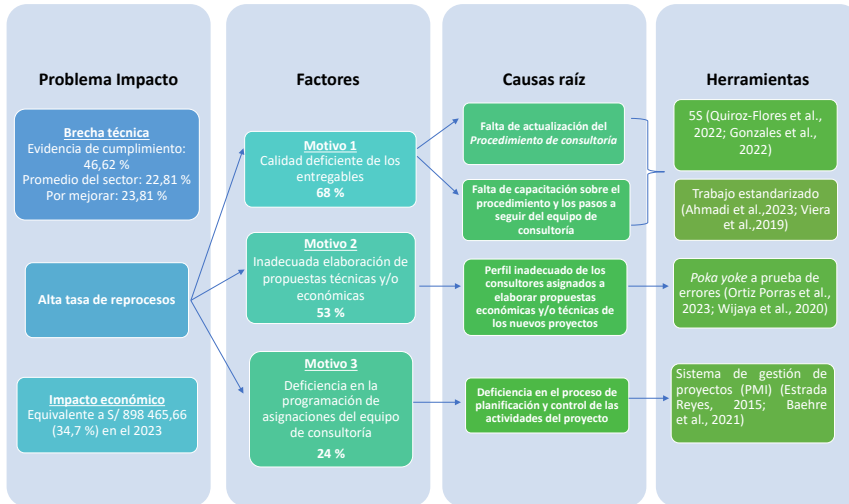
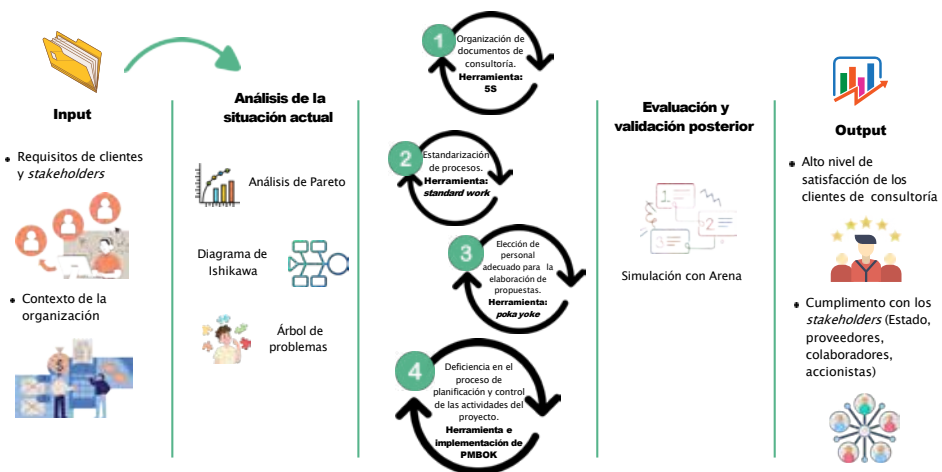


Figura 2*Árbol de problemas*

Una vez identificadas las causas raíz, se procedió al diseño de un modelo de gestión basado en la metodología *lean office*, cuyo enfoque se centra en la adecuada programación de actividades, la estandarización de procesos y el aseguramiento de la calidad. Esta metodología tiene como objetivo optimizar los procesos internos y reducir la variabilidad en los entregables. La Figura 3 presenta la propuesta de modelo de gestión elaborada para abordar las problemáticas detectadas.

Figura 3*Modelo de gestión propuesto aplicando principios de lean office*

En la fase de diseño de la solución, se propuso la implementación de herramientas como 5S, trabajo estandarizado y un SGP basado en los estándares del PMBOK con el objetivo de optimizar los procesos de consultoría.

En primer lugar, se aplicó la metodología 5S en el entorno digital mediante la reorganización del sistema documentario de la empresa a través de SharePoint. Esta reorganización incluyó la eliminación de archivos innecesarios, la creación de carpetas estructuradas y la estandarización de nomenclatura para facilitar la búsqueda y el acceso a la información. Esta práctica se alinea con lo señalado por Manzanares-Cañizares et al. (2022), quienes evidencian que la aplicación rigurosa de la metodología 5S mejora la trazabilidad de la información y reduce los tiempos operativos, incluso en entornos altamente exigentes. La Figura 4 muestra la propuesta implementada para la organización de las carpetas digitales, diseñada con el objetivo de mejorar la eficiencia documental y reducir los tiempos de búsqueda.

Figura 4

Propuesta implementada de la organización de las carpetas en SharePoint



Asimismo, se implementó una política de auditoría trimestral orientada a la depuración de archivos obsoletos y a la prevención de la acumulación de información innecesaria. Además, se elaboraron guías y listas de verificación o *checklist* para el correcto almacenamiento y recuperación de información, y se capacitó al personal en el uso adecuado de los repositorios digitales, así como en su mantenimiento continuo.

Tabla 6
Checklist de documentación obligatoria en las carpetas

| ID del servicio | Cliente | Consultor | Documentación del proyecto actualizada en el SharePoint | Elaboración del Acta de Aceptación Final del Servicio (AAFS) | Firma AAFS | Total |
|-----------------|---------------|--------------------|---|--|------------|-------|
| 200583 | PWC México | Laura Broncano | | | | |
| 200571 | UPCH | Jonathan Velásquez | | | | |
| 200488N | Summa Gold | Ian Bazo | | | | |
| 200531 | Paga Todo | Ian Bazo | | | | |
| 200546 | Hiraoka | Ian Bazo | | | | |
| 200370 | DATCO | Laura Broncano | | | | |
| 200408N | DPWL | Laura Broncano | | | | |
| 200502N | Oracle Perú | Jonathan Velásquez | | | | |
| 200473 | Interbank Em1 | Jonathan Velásquez | | | | |

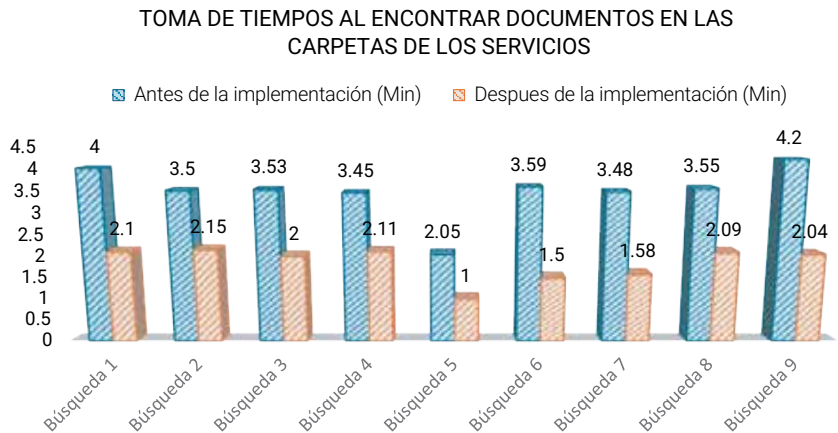
Este documento permitirá verificar si las carpetas de los servicios, seleccionados aleatoriamente, cumplen con tres requisitos clave. A cada criterio cumplido se le asigna un valor de 1 y, en caso contrario, 0; por lo tanto, una carpeta que cumpla con todos los requisitos obtiene un puntaje total de 3. Este sistema de evaluación permitió medir objetivamente el orden y la estandarización documental alcanzados tras la implementación.

Como parte del análisis, se realizó una medición comparativa del tiempo necesario para localizar documentos antes y después de la reorganización de las carpetas. Los resultados mostraron una reducción del 50 % en el tiempo promedio de búsqueda, lo cual se tradujo en una mejora significativa en la eficiencia y eficacia de los usuarios al acceder a la información requerida.

La Tabla 6 presenta un resumen del instrumento aplicado, mientras que la Figura 5 compara los tiempos registrados antes y después de la intervención, lo que evidencia la efectividad de la herramienta implementada.

Figura 5

Comparación de tiempos para encontrar documentos antes y después de la implementación



En el marco del trabajo estandarizado, se elaboraron procedimientos documentados para la gestión integral de servicios de consultoría, los cuales contemplan la definición de hitos por fases, la estandarización de entregables mediante plantillas y listas de verificación o *checklist*, así como la capacitación del personal en aspectos relacionados con la gestión de calidad. Este procedimiento —considerado el *core* del negocio— fue unificado y actualizado tomando como referencia los estándares del PMBOK, con el propósito de garantizar un modelo de gestión más ágil, estructurado y orientado a la calidad del servicio.

En último lugar, el SGP basado en el PMBOK incorporó la gestión de integración mediante herramientas colaborativas como Microsoft Teams y SharePoint. Debido a que la empresa en estudio es *partner* oficial de Oracle, esta condición justificó la selección de herramientas compatibles con su ecosistema, las cuales mejoran la trazabilidad y el control documental (Oracle, 2024; Tomaszewska, 2023). Según Tomaszewska (2023), la digitalización y la automatización de procesos administrativos fortalecen la trazabilidad, reducen errores y optimizan la asignación de recursos. Además, destaca la gestión del tiempo con la implementación de diagramas de Gantt y cronogramas detallados, la gestión de calidad mediante auditorías internas y revisión de entregables bajo criterios predefinidos, y la gestión de riesgos mediante la identificación y mitigación de potenciales fallos en la implementación del ERP a través del análisis de escenarios. La Tabla 7 muestra un ejemplo del modelo de *dashboard* generado por el SGP implementado, que facilita el monitoreo de proyectos y la toma de decisiones.

Tabla 7*Dashboard generado por el SGP implementado*

| | Empresa | Abril | Mayo | Tendencia |
|----|-------------|-------|---------|-----------|
| 1 | Empresa CAH | 50 % | 100 % | Subió |
| 2 | Empresa KP | 50 % | 100 % | Subió |
| 3 | Empresa CF | 75 % | 100 % | Subió |
| 4 | Empresa QP | 97 % | 100 % | Subió |
| 5 | Empresa SG | 30 % | 81,30 % | Subió |
| 6 | Empresa PHC | 80 % | 85,70 % | Subió |
| 7 | Empresa MAR | 50 % | 75 % | Subió |
| 8 | Empresa DP | 100 % | 100 % | Mantuvo |
| 9 | Empresa GM | 100 % | 100 % | Mantuvo |
| 10 | Empresa BM | 100 % | 100 % | Mantuvo |

Para la fase de validación, se realizó una simulación en el *software* Arena, donde se analizaron errores, tiempos de reproceso y el impacto de la implementación de *lean office* en la eficiencia operativa. La Figura 6 muestra el modelo inicial, correspondiente a la situación actual sin intervención, donde se observa la estructura operativa original con sus tiempos y reprocesos. Por otro lado, la Figura 7 presenta el modelo mejorado tras la implementación de las herramientas, el cual destaca cambios en los flujos, una reducción de errores y una mayor eficiencia.

Figura 6
Modelo inicial en el software Arena

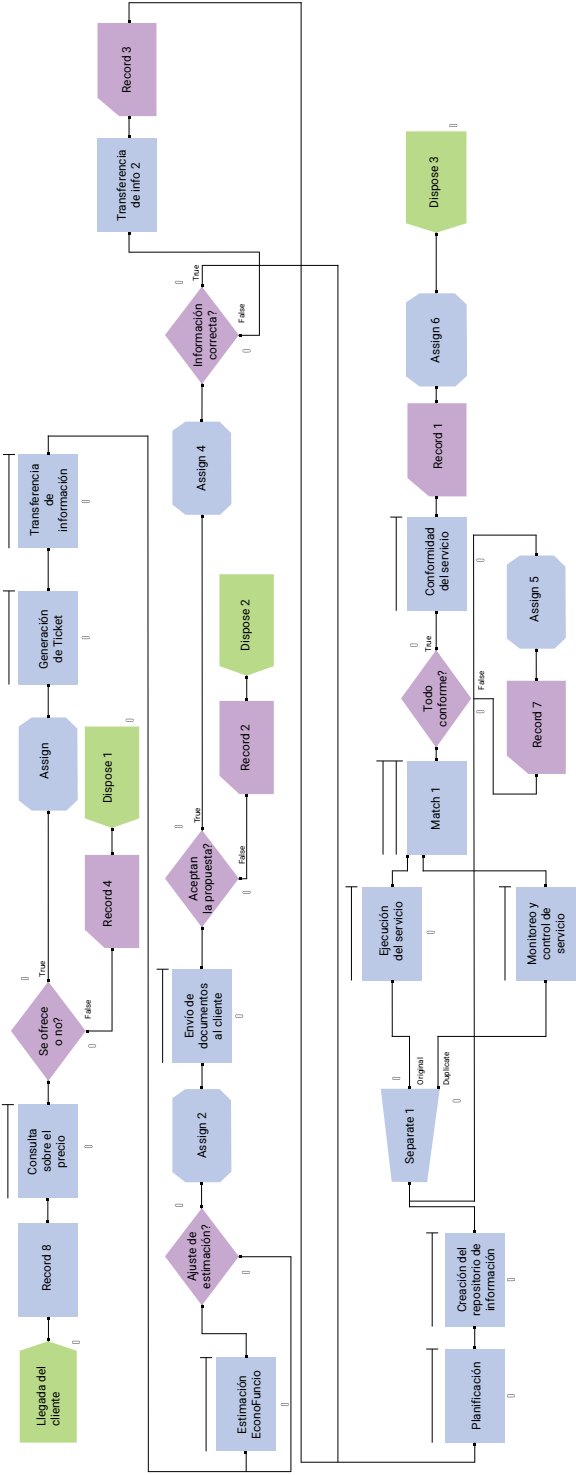
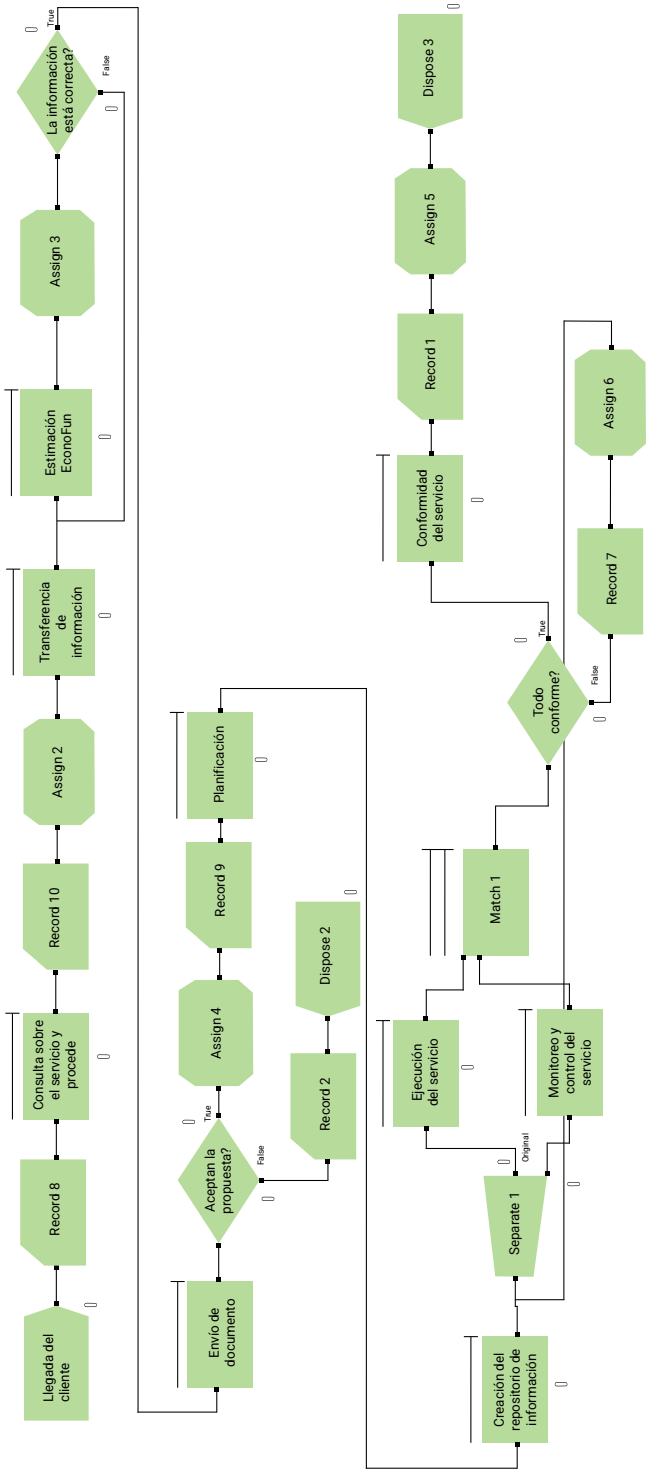


Figura 7
Modelo mejorado en el software Arena



El modelo de simulación en Arena configuró los procesos clave del área de consultoría, incorporando tiempos de ejecución, tasas de error y capacidad de los consultores. Se realizaron 33 réplicas con parámetros específicos en cada módulo para reflejar con precisión la realidad operativa de la empresa. Además, el *input analyzer* determinó la distribución estadística más adecuada, mientras que el *output analyzer* evaluó la reducción de tiempos y errores, lo que optimizó el desempeño del sistema.

En la fase de evaluación de resultados, se confirmó un impacto positivo, con una reducción del 50 % en la tasa de servicios reprocesados, un 20 % en los costos operativos y un aumento del 15 % en la productividad de los consultores. Asimismo, la calidad de los entregables mejoró en un 35 % y la satisfacción del cliente, medida a través del NPS, registró un incremento del 25 %.

Para la evaluación económica y financiera, se analizaron costos, ahorros y beneficios, empleando indicadores como el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR) para determinar la viabilidad del modelo. El análisis financiero reveló que el proyecto cuenta con un VPN de S/3 570 298,63 y una TIR del 145 %, lo que indica una rentabilidad atractiva y sostenible a largo plazo. Asimismo, se calculó la relación beneficio/costo, que obtuvo un valor de 3,34, lo que significa que por cada sol invertido se espera obtener un beneficio de S/ 3,34. Adicionalmente, el periodo de recuperación de la inversión se estimó en tres años y tres meses, lo cual asegura la viabilidad financiera del proyecto.

Estas estimaciones se elaboraron proyectando los flujos de caja a un horizonte de cinco años; para ello, se consideraron los ahorros anuales obtenidos por la reducción de reprocesos: 20 % en calidad, 30 % en horas hombre y una disminución de los costos operativos, según los resultados de la validación piloto. La inversión inicial fue de S/ 1 068 711,17 e incluyó la adquisición de licencias, la elaboración de documentación técnica y la capacitación del personal. Los flujos netos fueron descontados a una tasa del 10 %, correspondiente al costo promedio de capital para empresas del sector servicios en el Perú.

También se efectuó un análisis de sensibilidad para evaluar la estabilidad del proyecto ante posibles cambios en las principales variables económicas con el *software @RISK*. Los resultados mostraron que, incluso en un escenario pesimista, el proyecto mantiene un VPN positivo de S/ 1,79 millones, mientras que en un escenario optimista puede alcanzar hasta S/ 4,96 millones. El indicador más sensible del análisis resultó ser la relación beneficio/costo, el cual oscilaba entre -2,99 en escenarios desfavorables y 9,70 en los escenarios más favorables. Estos resultados confirman que, aunque la rentabilidad del proyecto depende de las condiciones iniciales, la propuesta mantiene una viabilidad económica sólida en la mayoría de los escenarios analizados.

Por otro lado, el análisis de riesgos permitió identificar contingencias clave en la implementación, destacando la posible resistencia al cambio organizacional y la dependencia de la correcta adopción de herramientas *lean office*, especialmente en la implementación de 5S y trabajo estandarizado, donde se detectaron riesgos moderados. Para mitigar estos riesgos, se diseñaron estrategias de capacitación, seguimiento y adaptación progresiva con el fin de asegurar que la transición hacia el nuevo modelo operativo se realice de manera eficiente y con un impacto positivo en la productividad y calidad del servicio. La Tabla 8 presenta una comparación de los principales indicadores obtenidos antes y después de la implementación, que evidencia mejoras significativas en los resultados operativos.

Tabla 8
Indicadores obtenidos del modelo inicial y mejorado

| Indicadores obtenidos | | | |
|---|----------------|---|----------------|
| Modelo inicial | | Modelo mejorado | |
| Indicador | Resultado en % | Indicador | Resultado en % |
| Tasa de servicios reprocesados | 75 % | Tasa de servicios reprocesados | 25 % |
| Tasa de propuestas económicas y/o funcionales rechazadas | 25 % | Tasa de propuestas económicas y/o funcionales rechazadas | 0 % |
| Tasa de documentación incompleta | 13 % | Tasa de documentación incompleta | 0 % |
| Tasa de servicios No Conformes (Calidad del servicio) | 38 % | Tasa de servicios No Conformes (Calidad del servicio) | 0 % |
| Tasa de cumplimiento en relación con el tiempo de entrega | 100 % | Tasa de cumplimiento en relación con el tiempo de entrega | 100 % |

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio confirman la eficacia de la metodología *lean office* en la optimización de los procesos operativos en empresas de consultoría. La reducción del 50 % en la tasa de retrabajos y la mejora del 50 % en los tiempos de ejecución reflejan el impacto positivo de herramientas como 5S, trabajo estandarizado y *poka-yoke*. Estos hallazgos coinciden con el estudio de Fazinga et al. (2019), quien destaca que la aplicación de estas metodologías minimiza errores y optimiza el desempeño en entornos empresariales. En esta misma línea, Costa et al. (2021) evidencian que la aplicación del enfoque *lean office* mejora la organización del entorno de trabajo y optimiza los flujos administrativos, eliminando actividades innecesarias y mejorando la eficiencia operativa de la empresa.

Desde la perspectiva del cliente, la mejora del 25 % en el Net Promoter Score (NPS) refleja una percepción más favorable respecto a la calidad de los entregables y la

eficiencia en los tiempos de respuesta. Este resultado coincide con estudios recientes que evidencian que un NPS elevado se asocia con un mayor crecimiento empresarial y una mayor lealtad por parte del cliente (Baehre et al., 2021). Asimismo, los hallazgos respaldan la investigación de Antony et al. (2021), quienes argumentan que la mejora continua en la gestión de procesos contribuye tanto a la eficiencia operativa como a la fidelización del cliente.

Desde un punto de vista económico, la reducción del 20 % en los costos operativos valida la capacidad de las metodologías *lean* para generar beneficios tangibles en empresas de servicios, similar a los resultados obtenidos por Ortiz-Porras et al. (2023) en la aplicación de *green lean six sigma*. Este hallazgo resalta la viabilidad y el impacto financiero positivo de la implementación de herramientas *lean* en sectores de consultoría con alta demanda.

A pesar de los logros alcanzados, la investigación presenta ciertas limitaciones que deben ser consideradas al interpretar los resultados. En primer lugar, la aplicación del modelo en una sola empresa restringe la generalización de los resultados a otras organizaciones del sector. Esta limitación se ve acentuada debido a que la empresa analizada corresponde a una pyme, por lo que la aplicabilidad del modelo propuesto en organizaciones de mayor escala podría verse afectada por factores adicionales, tales como una mayor complejidad organizacional, estructuras jerárquicas más rígidas y procesos más extensos y burocráticos. En esta línea, Ahmadi y Rahmani (2023) señalan que, en entornos administrativos de gran tamaño, la implementación de metodologías *lean* enfrenta mayores barreras culturales y organizacionales, lo cual puede limitar o retrasar la adopción efectiva de la metodología.

Asimismo, la ausencia de un grupo de control dificulta la aislación del impacto de las herramientas *lean* de otros factores externos. Por otra parte, la duración del estudio podría no capturar los efectos a largo plazo de la metodología en la cultura organizacional y la sostenibilidad de las mejoras operativas. Finalmente, se identifica una brecha en la literatura sobre la aplicación de *lean* en el sector servicios en el contexto peruano, lo que subraya la necesidad de investigaciones futuras en esta área.

En cuanto a futuras líneas de investigación, se recomienda realizar estudios con muestras más amplias y diversificadas, incluyendo empresas de consultoría de distintos sectores y tamaños. Además, sería valioso explorar el impacto a largo plazo de la metodología *lean office* en la cultura organizacional y en la retención de talento en empresas de servicios. También podría investigarse la combinación de *lean office* con otras metodologías como *agile* o *six sigma*, evaluando su potencial sinérgico en la mejora de procesos. Por último, el uso de herramientas digitales avanzadas, como la simulación en Arena, podría integrarse en futuras investigaciones para predecir el impacto de las intervenciones antes de su implementación.

CONCLUSIONES

La implementación de un modelo de gestión basado en la metodología *lean office* demostró ser eficaz para enfrentar los principales problemas operativos identificados en la empresa en estudio. Como resultado, se logró reducir la tasa de retrabajos del 75 % al 25 %, validando la eficiencia de herramientas como la estandarización de procedimientos y la metodología 5S digital; esta mejora permitió optimizar los flujos de trabajo y minimizar errores recurrentes.

Asimismo, los tiempos de respuesta en la entrega de proyectos se redujeron en un 50 %, lo que evidencia una mejora significativa en la eficiencia operativa. En términos de percepción del cliente, se registró un incremento del Net Promoter Score (NPS) del 39 % al 70 %, lo que confirma que la mejora en la calidad de los entregables impacta directamente en la satisfacción del cliente.

Desde un enfoque económico, la disminución de los costos operativos asociados a reprocesos valida el impacto financiero positivo de la aplicación de *lean office* en entornos de servicios. Además, los resultados obtenidos demuestran que las herramientas *lean*, tradicionalmente aplicadas en el sector manufacturero, pueden adaptarse exitosamente al ámbito de la consultoría, mejorando tanto indicadores operativos como económicos. Esto pone en evidencia la flexibilidad y escalabilidad del enfoque *lean* en sectores no convencionales.

De la misma forma, es crucial invertir en la formación permanente de los consultores en metodologías *lean* y en el uso de herramientas digitales de gestión. Tal como señalan Sichinsambwe et al. (2023), la integración de enfoques *lean* y *kaizen* favorece mejoras sostenidas en la calidad y consolida una cultura organizacional orientada a la eficiencia, lo que fortalecerá una cultura de mejora continua y asegurará que el equipo esté preparado para enfrentar nuevos desafíos con altos estándares de calidad.

Para fortalecer los hallazgos de esta investigación, se propone que futuros estudios evalúen la aplicación del modelo *lean office* en empresas de servicios de mayor tamaño o en otros subsectores como tecnología, *marketing* o finanzas. Asimismo, sería valioso explorar su integración con metodologías ágiles y herramientas digitales, como la inteligencia artificial o la automatización, para potenciar la eficiencia operativa. Estas investigaciones contribuirían a validar la adaptabilidad del enfoque *lean* en contextos no industriales y a desarrollar modelos de gestión más robustos y sostenibles.

En síntesis, la implementación del enfoque *lean office* en el sector de servicios se consolida como una estrategia efectiva para optimizar procesos, mejorar la eficiencia operativa, reducir costos y elevar la satisfacción del cliente. Su capacidad de adaptación y su enfoque en la mejora continua la convierten en una herramienta clave para enfrentar los desafíos de entornos altamente dinámicos. Además, su potencial de integración con otras

metodologías y tecnologías emergentes abre un amplio campo de oportunidades para futuras investigaciones y aplicaciones estratégicas en diversos contextos organizacionales.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

Daniela Regina Javier Gonzales: conceptualización, *data curation*, análisis formal, investigación, metodología, administración de proyecto, recursos, *software*, supervisión, validación, visualización, escritura: borrador original, redacción: revisión y edición. **Alonso Gusmaro Zapata Salazar:** conceptualización, *data curation*, análisis formal, investigación, metodología, administración de proyecto, recursos, *software*, supervisión, validación, visualización, escritura-borrador original, redacción: revisión y edición. **Elsie Bonilla Pastor:** conceptualización, investigación, metodología, supervisión, validación, escritura-borrador original, redacción: revisión y edición.

REFERENCIAS

- Acosta-Ramírez, D., Herrera-Noel, Á., Flores Pérez, A., Quiroz Flores, J., & Collao Díaz, M. (2022). Application of Lean Manufacturing tools under DMAIC approach to increase the NPS in a real estate company: A Research in Peru. En *Proceedings of the 2022 9th International Conference on Industrial Engineering and Applications (Europe)* (pp. 70-76). ICIEA. <https://doi.org/10.1145/3523132.3523144>
- Ahmadi, T., & Rahmani, N. (2023). How to develop standardized work for business processes in the transactional office environment. *Total Quality Management & Business Excellence*, 34(13-14), 1719-1732. <https://doi.org/10.1080/14783363.2023.2203377>
- Antony, J., Scheumann, T., Sunder, V., Cudney, E., Rodgers, B., & Grigg, N. P. (2021). Using Six Sigma DMAIC for Lean project management in education: a case study in a German kindergarten. *Total Quality Management & Business Excellence*, 33(13-14), 1489-1509. <https://doi.org/10.1080/14783363.2021.1973891>
- Baehre, S., O'Dwyer, M., O'Malley, L., & Lee, N. (2021). The use of Net Promoter Score (NPS) to predict sales growth: insights from an empirical investigation. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 50, 67-84. <https://doi.org/10.1007/s11747-021-00790-2>
- Cabrera, O., Tejeda, J., Llontop, J., Mendoza, P., Alvarez, J. C., & Demirkesen, S. (2023). A validation model to reduce non-contributory time based on Lean tools: Case of a

- construction company in Perú. *Cogent Engineering*, 10(1), 2236838. <https://doi.org/10.1080/23311916.2023.2236838>
- Caceda Ugaz, C. A. (2022). *Implementación de un sistema de gestión empresarial (ERP) para mejorar el área de contabilidad en la empresa constructora Hefesto S.A.C., Lima 2020* [Tesis de licenciatura, Universidad San Ignacio de Loyola]. Repositorio Institucional USIL. <https://hdl.handle.net/20.500.14005/12408>
- Ciano, M. P., Dallasega, P., Orzes, G., & Rossi, T. (2020). One-to-one relationships between Industry 4.0 technologies and Lean Production techniques: a multiple case study. *International Journal of Production Research*, 59(5), 1386-1410. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1821119>
- Correal Rodríguez, N. A. (2021). *Las contribuciones de la ERP de una empresa de proyectos de infraestructura para la toma de decisiones gerenciales* [Tesis de maestría, Universidad EAFIT]. Repositorio Institucional Universidad EAFIT. <https://hdl.handle.net/10784/30168>
- Costa, F., Kassem, B., & Portioli Staudacher, A. (2021). Lean Office in a Manufacturing Company. En D. J. Powell, E. Afnes, M. Holmemo & Reke, E. (Eds.), *Learning in the Digital Era* (vol. 610, pp. 351-356). https://doi.org/10.1007/978-3-030-92934-3_36
- Deloitte. (s. f.). *Maximizing ERP market value*. <https://www.deloitte.com/us/en/what-we-do/capabilities/finance-transformation/articles/erp-value.html>
- Dos Santos, A. A., Schmidt Goecks, L., Müller Pereira, L., Strapazzon do Couto, B., & Korzenowski, A. L. (2024). Industry 4.0 technologies and Lean Office: perspectives to Smart Office. *Production*, 34, e20220060. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20220060>
- Fazinga, W., Saffaro, F., Isatto, E., & Lantelme, E. (2019). Implementation of standard work in the construction industry. *Revista Ingeniería de Construcción*, 34(3), 288-298. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732019000300288>
- Guerrero Yesan, L. A., Gaitán Lopez, W. A., Guzman Castillo, M. E., & Loo Arias, N. P. (2023). *Plan de desarrollo de carrera para los líderes de proceso de la empresa Vicsa Safety Perú* [Tesis de maestría, Universidad del Pacífico]. Repositorio UP. <https://repositorio.up.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/247a804b-2f33-4d4c-9217-d0fbc6dc8cb5/content>
- Haro, A. F., Martínez, E. J., Chango, T. S., Zambrano, T. P., & Zambrano, M. F. (2023). Enterprise resource planning (ERP) procesos para una implementación óptima y eficiente. *Prometeo Conocimiento Científico*, 3(1), e21. <https://doi.org/10.55204/pcc.v3i1.e21>

- Kääriä, E., & Shamsuzzoha, A. (2024). Improvement of an order-to-cash business process by deploying lean six sigma tools: a case study. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 73(11), 161-189. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-01-2022-0050>
- Machado Campos e Souza, A., Machado Gonçalves, I. C., dos Santos Ribeiro, L., & dos Santos, R. A. (2023). A metodologia de Lean Office aplicada em uma gerência de projetos. *Revista de Gestão e Projetos*, 14(2), 157-173. <https://doi.org/10.5585/gep.v14i2.23494>
- Mancera, N. G. (2020). *Lean Office: Método aplicado a procesos administrativos ante excesos de venta de artículos de joyería* [Tesis de maestría, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio Institucional UMNG. <https://hdl.handle.net/10654/36149>
- Manzanares-Cañizares, C., Sánchez-Lite, A., Rosales-Prieto, V. F., Fuentes-Bargues, J. L., & González-Gaya, C. (2022). A 5S Lean strategy for a sustainable welding process. *Sustainability*, 14(11), 6499. <https://doi.org/10.3390/su14116499>
- Mc Farlane Olazabal, J. A. (2022, mayo). *Implementación de un ERP para mejorar el proceso de venta y facturación en empresa de vehículos eléctricos personales* [Tesis de licenciatura, Universidad de Lima]. Repositorio Institucional de la Universidad de Lima. <https://hdl.handle.net/20.500.12724/16194>
- Oracle. (2024). *¿Qué es la ERP?* <https://www.oracle.com/es/erp/what-is-erp/>
- Ortiz-Porras, J. E., Bancovich-Erquínigo, A. M., Candia-Chávez, T. C., Huayanay-Palma, L. M., Moore-Torres, R. K., & Tinoco Gomez, O. R. (2023). Green Lean Six Sigma model for waste reduction of raw material in a nectar manufacturing company of Lima, Peru. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 16(2), 169-185. <https://doi.org/10.3926/jiem.4916>
- Project Management Institute. (2021). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK) y el estándar para la dirección de proyectos (7.ª ed.)*. <https://www.demosidea.com/wp-content/uploads/2023/12/PMBOK-7Ed.pdf>
- Project Management Institute & PwC. (2022). *Medir lo importante. Por qué necesita cambiar su perspectiva sobre el éxito del proyecto*. Project Management Institute. https://www.pmi.org/-/media/pmi/documents/public/pdf/learning/thought-leadership/measuring_what_matters_report.pdf?v=8b8a3c39-6a41-431a-98ea-5c2d5c15439d&sc_lang=temp-es-419
- Shahbaz, M. S., & Shaikh, F. A. (2019). Impact of lean management practices on operational performance: an empirical investigation from construction supply chain of Pakistan. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, 10(2), 85-92. <https://doi.org/10.30880/ijscet.2019.10.02.008>

- Sichinsambwe, C., Lubosi Simasiku, P., Sikombe, S., & Nyimbili, H. (2023). Kaizen practices and performance improvement in Zambian manufacturing companies. *Cogent Engineering*, 10(1), 2183590. <https://doi.org/10.1080/23311916.2023.2183590>
- Tomaszewska, K. (2023). Comparative simulation of the production flow with the implementation of Kanban and DBR. *Management and Production Engineering Review*, 14(2), 79-87. <http://dx.doi.org/10.24425/mper.2023.146025>
- Trebuna, P., Pekarcikova, M., Kliment, M., Kopec, J., & Svantner, T. (2023). Online e-Kanban system implementation in a manufacturing company. *International Journal of Simulation Modelling*, 22(1), 5-16. <https://doi.org/10.2507/ijssimm22-1-614>
- Valdivia, G., & Rivas, J. (2021, 19-23 de julio). Management model based on lean service to increase the effectiveness of operational processes in a service company. En *Proceedings of the 19th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology*. <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.405>
- Zheng, C. Y., & Kim, S. (2023). The Influence of Enterprise Resource Planning (ERP) System on Customer Satisfaction. *The AU eJournal of Interdisciplinary Research*, 8(2), 1-11. <https://assumptionjournal.au.edu/index.php/eJIR/article/view/7797>

GESTIÓN DEL PROCESO DE RECEPCIÓN, ALMACENAJE Y ENTREGA DE COMBUSTIBLES EN LA COMERCIALIZADORA DE MATANZAS

YASNIEL SÁNCHEZ SUÁREZ*

<http://orcid.org/0000-0003-1095-1865>

Facultad de Ingeniería Industrial,
Universidad de Matanzas, Cuba

JONATHAN RODRÍGUEZ TRUJILLO

<https://orcid.org/0009-0000-5388-1954>

Facultad de Ingeniería Industrial,
Universidad de Matanzas, Cuba

SHAYLA CASTELAR ALFONSO

<https://orcid.org/0009-0008-1372-1372>

Facultad de Ingeniería Industrial,
Universidad de Matanzas, Cuba

ARIALYS HERNÁNDEZ NARIÑO

<http://orcid.org/0000-0002-0180-4866>

Dirección de Ciencia e Innovación Tecnológica,
Universidad de Ciencias Médicas de Matanzas, Cuba

Recibido: 21 de mayo del 2025 / Aceptado: 10 de julio del 2025

Publicado: 19 de diciembre del 2025

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2025.n049.7935>

RESUMEN. Las demoras en la descarga y recepción de combustibles por baja capacidad logística e infraestructura generan cuellos de botella y afectan la distribución del crudo. El objetivo de la investigación es analizar el proceso de recepción, almacenaje y entrega de combustibles en una comercializadora de combustibles cubana. La metodología es cuantitativa descriptiva, con un enfoque sistemático para analizar las posibles repercusiones

Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

* Autor corresponsal.

Correos electrónicos en orden de aparición: yasnielsanchez9707@gmail.com; jonathanrt@umcc.cu; castelarshayla@gmail.com; arialishn.mtz@infomed.sld.cu

Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

de las soluciones en las partes interesadas, a partir de un estudio bibliográfico, al igual que un análisis a través del método general de solución de problemas. Como resultado de la investigación, se detecta el incumplimiento de los parámetros de temperatura exigidos por los clientes, ya que los tubos no cuentan con el recubrimiento necesario para mantener la temperatura. En función de las deficiencias detectadas en el proceso, se proponen un conjunto de acciones, basadas en el reemplazo, reparación e instalación de equipamiento y el aseguramiento logístico de piezas.

PALABRAS CLAVE: control de procesos / comercio del combustible / combustibles / gestión de empresas / almacenes / control de calidad / normalización / Cuba

MANAGEMENT OF THE PROCESS OF RECEPTION, STORAGE AND DELIVERY OF FUELS AT THE SLAUGHTERING COMMERCIALIZATION COMPANY

ABSTRACT. Delays in the unloading and receiving of fuels due to low logistical capacity and infrastructure create bottlenecks and affect the distribution of crude oil. The objective of the research is to analyze the fuel reception, storage, and delivery process in a Cuban fuel distribution company. The methodology is descriptive and quantitative, with a systematic approach to assess the potential impacts of solutions on stakeholders, based on a bibliographic study, as well as an analysis using the General Problem-Solving Method. As a result of the investigation, non-compliance with the temperature parameters required by customers was detected, since the pipes lack the necessary coating to maintain temperature. Based on the deficiencies identified in the process, a set of actions is proposed, focusing on the replacement, repair, and installation of equipment, as well as ensuring the logistical supply of spare parts.

KEYWORDS: process control / fuel trade / fuel / industrial management / warehouses / quality control / standardization / Cuba

INTRODUCCIÓN

El mundo está atravesando paulatinamente una serie de cambios debido al desarrollo tecnológico alcanzado por diversos países (Nuralina et al., 2023), la mayoría de los cuales depende de la industria petrolera para el transporte, la generación de energía u otros usos (Gergova & Warren, 2024). Los petróleos viscosos y pesados presentan desafíos en el análisis de fluidos y crean obstáculos para la recuperación (Mascarenhas Cordeiro et al., 2024). Estos desafíos se están superando mediante nuevas tecnologías y mejoras en los métodos convencionales de desarrollo de petróleo y se espera que desempeñen un papel muy importante en el futuro de la industria petrolera (Yan et al., 2024). Hay una tendencia a aumentar la producción, revisar las estimaciones de reservas, probar nuevas tecnologías e invertir en infraestructura para garantizar que no se abandonen los recursos de petróleo pesado.

El petróleo convencional representa solo alrededor del 30 % del total, mientras que el petróleo pesado, el petróleo extrapesado y el bitumen constituyen el resto (Mascarenhas Cordeiro et al., 2024). Cuba no está ajena a los acontecimientos globales, pues cuenta con empresas capaces de refinar petróleo, extraer crudo nacional pesado, preparar sus mezclas y transportarlas por tierra y mar para su comercialización (Carrión-Alcayde et al., 2022). En este contexto, la actividad petrolera es considerada uno de los pocos sectores en expansión de la actual economía cubana (Ballagas Suárez et al., 2023). Esto lo respaldan las importantes mejoras en sus resultados de producción desde el principio de los años 90 hasta la actualidad, su impacto en la economía y especialmente en el ahorro energético del país, ya que, si bien el petróleo cubano es pesado, contiene alto contenido de azufre y de productos asfálticos, lo que representa una posibilidad real de que el país enfrente dependencia energética (Alcalá Abraham et al., 2021).

La comercialización del petróleo y sus derivados tiene como objetivo la entrega oportuna de los volúmenes de productos que diariamente requieren una amplia y diversa gama de clientes nacionales e internacionales (Shahnazi et al., 2023). La venta final de crudo o derivados en determinados mercados representa la culminación de todos los esfuerzos de la industria (Sheng & Wang, 2022). Cumplir pedidos y aceptar estos productos refieren ventas e ingresos que aseguran la continuidad y disponibilidad de nuevas inversiones, lo que demuestra las capacidades de la industria como importante generadora de divisas y dividendos.

El desarrollo y la expansión global de las ventas de petrolíferos han aumentado junto con la creciente demanda (Maamoun, 2021). Cada organización mantiene su figura, forma, relaciones con los clientes y estatus comercial como proveedor confiable para incrementar su participación en los mercados.

El petróleo crudo nativo es un líquido muy viscoso, lo cual dificulta su manipulación. Por ello, es necesario el calentamiento (Wu et al., 2021), el cual se logra a través de los intercambiadores de calor que, según reportes del departamento de mantenimiento, se encuentran en mal estado (con perforaciones). Esta situación provoca que el crudo se introduzca en el condensado y, al encontrarse contaminado, no pueda reintegrarse a la caldera como corresponde, lo que provoca pérdidas económicas. Además, el producto final no llega a los clientes con los parámetros de temperatura requeridos, de modo que afecta el proceso de recepción, almacenaje y entrega de combustibles. Por el peso significativo de este proceso para la empresa, se decide realizar un análisis integral de la situación existente respecto al calentamiento y, específicamente, a los intercambiadores de calor a través del método general de solución de problemas (MGSP), que es una estrategia que nos ayuda a resolver cualquier tipo de problema de manera efectiva. Entre sus ventajas destacan el enfoque integral y la flexibilidad para combinarse con herramientas como el diagrama de Ishikawa (Mohammed Alawi et al., 2024), además de facilitar la priorización de causas y cerrar el ciclo con la propuesta de acciones de mejora y la evaluación de alternativas. Otros métodos utilizados para la mejora de proceso son la modelación con enfoque *lean* mediante la implementación de mapas de flujos de valor (Sánchez Suárez et al., 2025), el análisis *six sigma* enfocado en reducir variabilidad e ideal para problemas complejos con datos cuantificables (Martínez Zárate et al., 2024) y los árboles de problema y objetivos que ayudan a descomponer un problema en subproblemas y priorizar soluciones (González-Muñoz et al., 2023).

A partir de la revisión de informes de auditoría, la consulta a expertos y el intercambio en consejo de dirección, se identifica un conjunto de problemáticas relacionadas con el proceso de recepción, almacenamiento y entrega de combustible (RAEC). Entre las principales se encuentran:

1. Falta de coordinación con proveedores, congestión en muelles o insuficiente capacidad de bombeo
2. Combustible contaminado o fuera de especificaciones
3. Discrepancias entre lo facturado y lo recibido
4. Mezcla de combustibles por errores en tuberías o limpieza inadecuada de tanques
5. Falta de mantenimiento en tanques o válvulas

En consecuencia, el objetivo de la investigación es analizar el proceso de recepción, almacenaje y entrega de combustibles en la comercializadora de combustibles de Matanzas.

METODOLOGÍA

Se utilizó una metodología de tipo cuantitativa descriptiva (Sánchez Suárez, Marqués León, Hernández Nariño & Suárez Pérez, 2023) con un enfoque sistemático para analizar las posibles repercusiones de las soluciones en las partes interesadas. Se utilizó el MGSP (Saltos Salgado et al., 2021) en su ejecución y se apoyó de materiales para el trabajo en equipo (como los métodos de cálculo del coeficiente de Kendall en la ecuación 1 y *brainstorming*) y de las técnicas de diagnóstico (como la revisión de documentos, entrevistas, análisis a través del diagrama de Ishikawa y la propuesta de acciones correctivas).

$$W = \frac{12 \sum \Delta^2}{m^2(k^3 - k)} \quad (1)$$

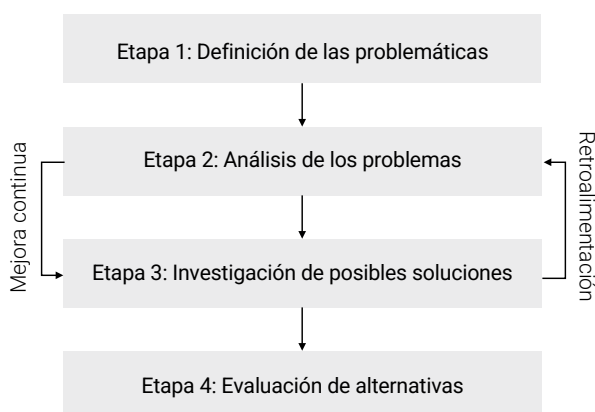
El Δ se calcula por fila en la ecuación 2, m representa la cantidad de expertos y k es el número de características a evaluar. El coeficiente debe ser mayor de $W > 0,5$ para que exista concordancia de criterios entre los expertos y el estudio pueda considerarse confiable. Si $W < 0,5$, el estudio no es válido y se repite el procedimiento. Se seleccionan las características de mayor prioridad que cumplan con $\sum_{i=1}^m A_{ij} \leq T$ y que $\Delta \leq 0$, donde m es la cantidad de expertos que evalúan las características (k).

$$\Delta = \sum_{i=1}^m A_{ij} - T \quad (2)$$

El MGSP cuenta con cuatro etapas principales (Saltos Salgado et al., 2021): 1) definición de las problemáticas; 2) análisis de los problemas; 3) investigación de posibles soluciones; y 4) evaluación de alternativas. En la Figura 1, se evidencia que estas fueron contextualizadas al caso de estudio práctico.

Figura 1

Procedimiento propuesto en la investigación



En la etapa 1, se utilizó el método del coeficiente de Kendall para la priorización de las características a evaluar (Calzado-Girón, 2020; Barrueta Gómez et al., 2022), las cuales se obtuvieron a partir del trabajo conjunto con el equipo de expertos (se seleccionaron un total de 7 expertos), que contaron con las competencias necesarias a partir del cálculo del índice de experticia propuesto por Sánchez Suárez, Marqués León, Hernández Nariño y Suárez Pérez (2023). Se realizó un taller en la entidad objeto de estudio donde se explicaron los objetivos de la investigación y los sistemas de ponderación a utilizar para el correcto despliegue del método del coeficiente de Kendall (Marín-González et al., 2021).

Para la identificación de problemáticas se empleó la lluvia de ideas (Murillo Morocho et al., 2014) y se estructuró en siete pasos:

1. Se escogió al facilitador y persona que apuntó las ideas.
2. Se escribió en un tablero una frase que representó el problema y el asunto de discusión.
3. Se escribió cada idea con el menor número de palabras posible. No se interpretaron o cambiaron las ideas.
4. Se estableció un tiempo límite (aproximadamente 25 minutos).
5. Se fomentó la creatividad al construir sobre las ideas de otros. Los miembros del grupo de lluvia de ideas y el facilitador nunca deben criticar las ideas.
6. Se revisó la lista para verificar su comprensión.
7. Se eliminaron las duplicaciones, problemas no importantes y aspectos no negociables.

Para el estudio causal de los principales problemas detectados, se utilizó el diagrama causa-efecto, que ha demostrado ser una herramienta eficaz para estudiar procesos, situaciones y desarrollar planes de recopilación de datos.

En la etapa 2, se realizó el análisis de las problemáticas a profundidad con un enfoque de proceso (Ortíz-Fernandez et al., 2024), el cual ha demostrado efectividad al romper las barreras funcionales en las empresas. La descripción se realizó mediante diagramas AS-IS (enfocados principalmente en describir actividades, tales como servicios).

Los diagramas AS-IS crean una representación visual que muestra exactamente cómo funciona el proceso actual, qué decisiones se deben tomar y cuánto tiempo lleva cada paso (Sánchez Suárez, Marqués León, Hernández Nariño & Santos Pérez, 2023). Para su creación, en primer lugar, se debe determinar el alcance del proceso; con ello, se identifican las partes interesadas y los expertos en el campo para obtener sus opiniones sobre qué pasos deben incluirse.

Se realizó un análisis de balance de carga y capacidad a través del método de punto limitante (Fornet Cabrera et al., 2021), donde se utilizó un diagrama de análisis de procesos productivos (OTIDA), que identifica las actividades de operación, transporte, inspección, demora y almacenamiento (Cherrez Sanmartin et al., 2021). En la implementación correcta de este balance, se hace necesario detectar correctamente la operación limitante o cuello de botella.

Para implementar correctamente el balance de carga (Fornet Cabrera et al., 2021) a través del método del cuello de botella, adaptado a las características de la entidad, se deben seguir los siguientes pasos:

1. *Representar el proceso productivo.* Se utilizó la simbología de la Tabla 1 para cada elemento en el proceso.
2. *Calcular las capacidades unitarias (Cui) y las capacidades reales (Cri) de cada operación.* En la ecuación 3, *i* representa la operación o el equipo, y *K* refiere al porcentaje de utilización del obrero o del equipo.

$$Cri = Cui * K \quad (3)$$

3. *Calcular las capacidades totales reales (CTRi).* En la ecuación 4, *Ne* representa el número de equipos, mientras que *No*, el número de obreros.

$$CTRi = Cri * Ne / No \quad (4)$$

4. *Seleccionar el cuello de botella o punto limitante.* Es la operación con menor valor de capacidad total real (CTRi) donde hay presente equipos.
5. *Balancear flujo.* En la ecuación 5, *Qi* significa la carga de cada proceso *i*.

$$Qi = CTRi \quad (5)$$

6. *Calcular el Ne / No.* En la ecuación 6, se evidencia el cálculo del *Ne / No*.

$$Ne / No = Qi / Cri \quad (6)$$

7. *Calcular el porcentaje (%) de utilización.* En la ecuación 7, este porcentaje se halla de la siguiente forma:

$$\% \text{ de utilización de los equipos} = (Ne_{\text{reales}}) / (Ne_{\text{aproximado}}) \quad (7a)$$

$$\% \text{ de utilización de los obreros} = (No_{\text{reales}}) / (No_{\text{aproximado}}) \quad (7b)$$

En la etapa 3, con el apoyo del equipo de trabajo se realizó la búsqueda de soluciones a los principales problemas detectados. Luego, en la etapa 4, se efectuó una evaluación de alternativas con el objetivo de encontrar la solución más factible para la empresa, a partir de criterios como el menor costo económico, la mayor vida útil, entre otros.

RESULTADOS

Los resultados de la investigación se obtienen de la División Territorial de Comercialización de Combustibles de Matanzas, Cuba (caso de estudio práctico), vinculada a la Unión CUPET del Ministerio de Energía y Minas de Cuba. Se encuentra situada en el kilómetro 3,5 de la Zona Industrial de Versalles, en la bahía de Matanzas. Los productos que se comercializan son el crudo nacional y sus mezclas, los combustibles de aviación, domésticos, automotor y solventes. La entrega de estos productos se realiza por mar, tierra, línea ferroviaria y camiones cisternas.

Los procesos con los que cuenta la empresa actualmente son los siguientes:

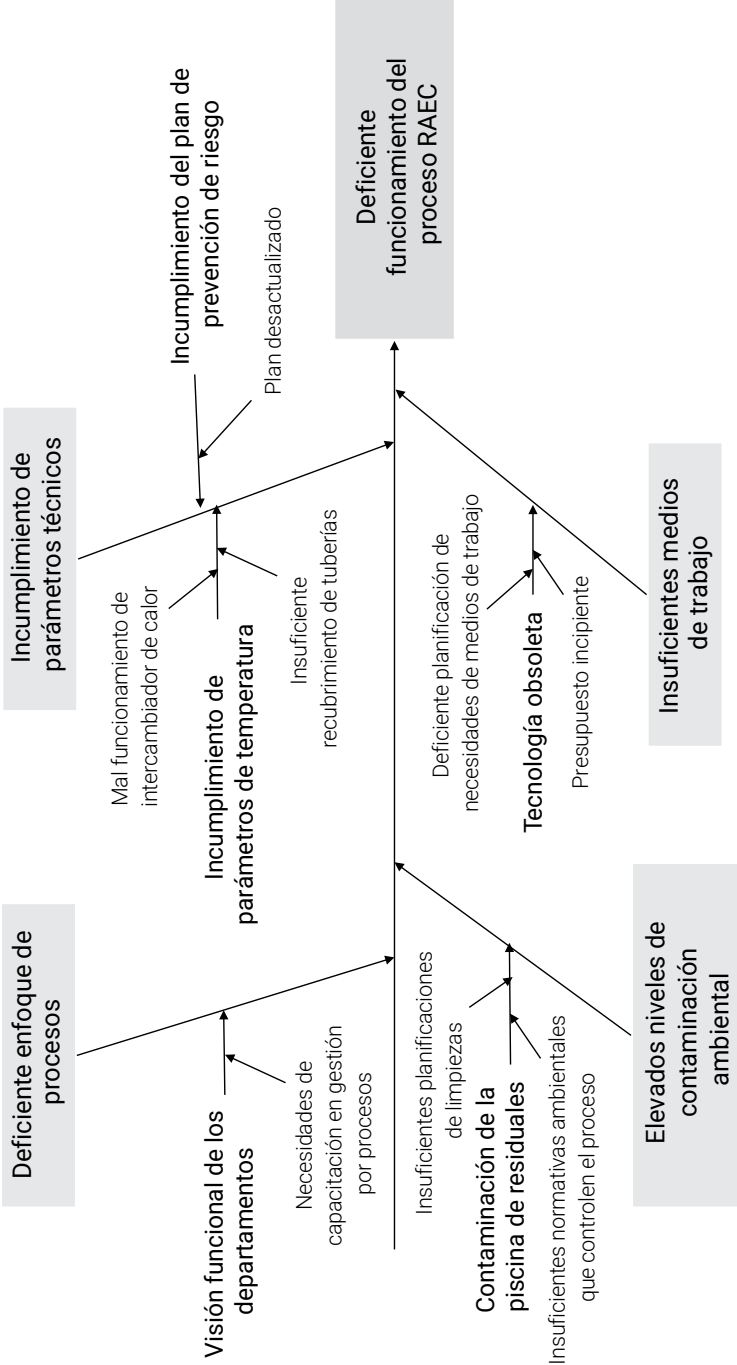
- Procesos estratégicos: gestión de la dirección (planificación estratégica) y medición, análisis y mejora
- Procesos claves: recepción, almacenamiento y entrega de combustible, confección de mezclas, sistema calentamiento y comercial
- Procesos de apoyo: gestión de recursos humanos y compras

De la aplicación del método del coeficiente de Kendall con un nivel de concordancia del 89 %, los expertos identificaron al RAEC como el proceso prioritario para el análisis y la mejora. Luego de realizada la lluvia de ideas, se identificaron los principales problemas que inciden en su correcto funcionamiento:

- Incumplimiento de los parámetros de temperatura del producto entregado según los requerimientos de los clientes
- Existencia de la piscina de residuales con alto contenido de productos contaminantes
- Falta de un recubrimiento total en los tubos de transporte de petróleo crudo
- Inadecuadas condiciones de los intercambiadores de calor
- Tecnología obsoleta en el área

En la Figura 2, se representa el análisis causal realizado.

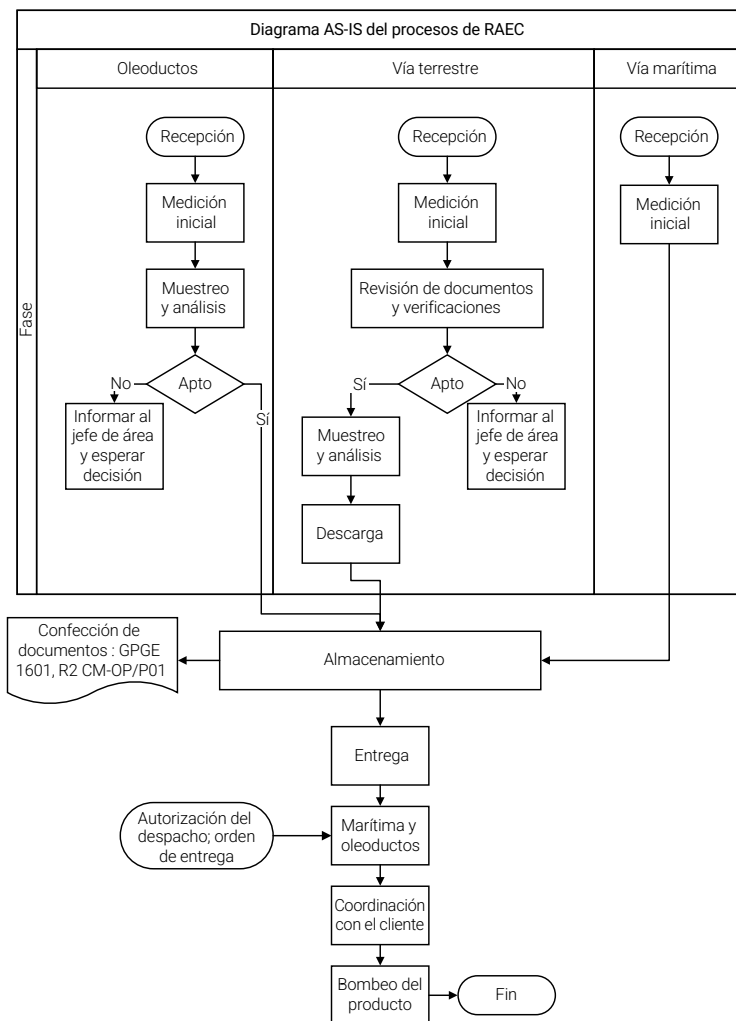
Figura 2
Diagrama causa-efecto



El estudio se realizó en la zona terrestre de abastecimiento y petróleo crudo, que cuenta con el mayor número de instalaciones de la organización. La base terrestre tiene como objetivo recibir, almacenar y comercializar bienes (crudo local y algunos solventes) a centrales termoeléctricas. El recibimiento del petróleo crudo es a través de pailas, buques tanque y tubería. El crudo se transporta por medio de camiones y tuberías a las unidades generadoras de la planta Martí. Por medio ferroviario también se transporta el petróleo de la estación de bombeo a la zona 1-1. El petróleo se obtiene del producto después de su paso por un intercambiador de calor. En la Figura 3, se muestra la descripción gráfica de las principales actividades que intervienen en el proceso, la cual se realizó por medio de un diagrama AS-IS.

Figura 3

Diagrama AS-IS de las actividades involucradas en el proceso RAEC



Se detectó que entre las principales causas que afectan el proceso RAEC está el calentamiento del petróleo crudo, por su carácter viscoso, lo que dificulta su flujo por las tuberías y ocasiona el incumplimiento con la temperatura requerida por los clientes (50 °C). Estos resultados de temperatura requerida por los diversos buques que comercializan con la empresa aparecen en la Tabla 1. Para la realización de las mediciones, se utilizan termómetros de mercurio en vidrio (OIML R85) con certificación vigente que se introducen en el tanque mediante sondas de medición (*termowell*) a profundidades específicas que requieren un tiempo de estabilización de tres minutos como mínimo para registrar la temperatura real. Las pruebas de repetibilidad se ejecutan en la fase de calibración de equipos, no durante la operación. Estos protocolos garantizan que la incertidumbre experimental esté controlada.

Tabla 1
Resultados de las temperaturas de entrega a buques tanque (año 2024)

| | | Temperatura del buque | |
|--|--------------------|-----------------------|---------|
| | | Plan | Real |
| 03/07/2024 | Aquila | 50 | 43 |
| 06/07/2024 | Caribbean Alliance | 50 | 49 |
| 10/07/2024 | Ocean Integrity | 50 | 43 |
| 14/07/2024 | Primula | 50 | 50 |
| 17/07/2024 | Caribbean Alliance | 50 | 59 |
| 21/07/2024 | Ocean Integrity | 50 | 43 |
| 22/07/2024 | Primula | 50 | 46 |
| 25/07/2024 | Neptune | 50 | 41 |
| 30/07/2024 | Theodoros IV | 50 | 42 |
| 05/08/2024 | Primula | 50 | 44 |
| 17/08/2024 | Aquila | 50 | 41 |
| 24/08/2024 | Esperanza | 50 | 42 |
| 26/08/2024 | Caribbean Alliance | 50 | 56 |
| 17/09/2024 | Caribbean Alliance | 50 | 46 |
| 17/09/2024 | Trident | 50 | 51 |
| 21/09/2024 | Primula | 50 | 43 |
| Buques cargados | | | 16 |
| Temperatura de salida mayor o igual a 50 | | | 4 |
| Cumplimiento | | | 25,00 % |

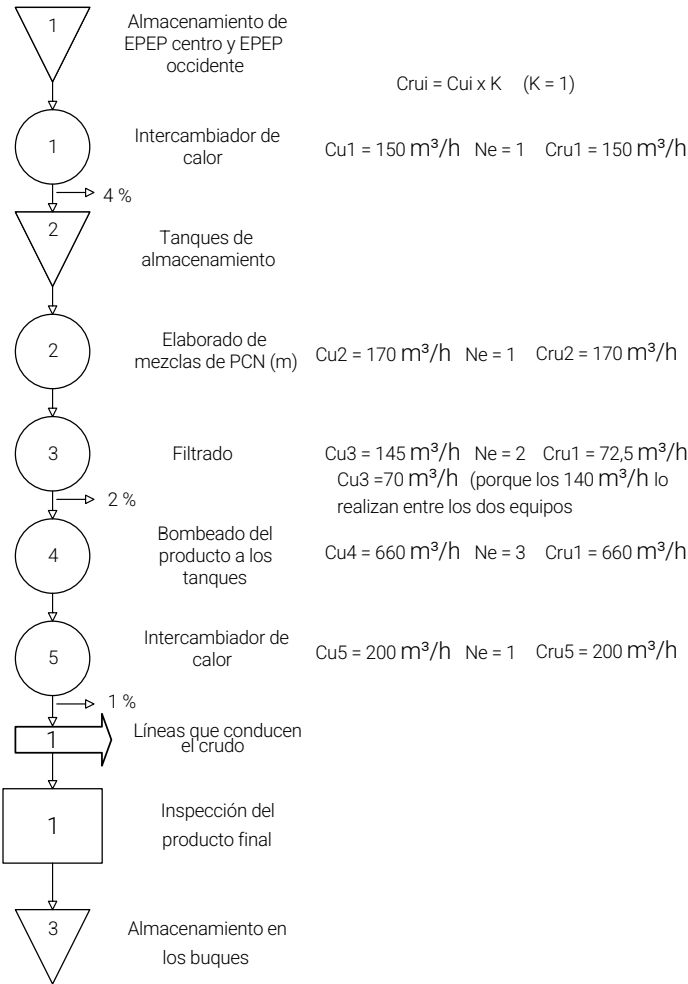
Los intercambiadores de calor se encuentran en estado crítico por perforaciones en su estructura. El crudo se adentra al condensado, el cual una vez contaminado no puede ser devuelto a la caldera como se debería hacer, pues hay que expulsarlo. Esta situación contamina el medio con esas impurezas y provoca pérdidas económicas, porque el agua que se desecha tiene que ser repuesta, agua fría que habría que calentar hasta los 90 °C. Se pierden 6 toneladas (t) de agua por hora de trabajo; si se multiplican esas 6 t por su precio en pesos cubanos, haría un aproximado de 4000 dólares cada hora que trabaje el intercambiador de calor; si el segundo intercambiador de calor expulsa aproximadamente 2,1 t por hora, el valor de la pérdida ascendería a 1400 dólares.

Al estudiar las operaciones relacionadas con el proceso RAEC en la base de crudo y suministros, se encontró que el petróleo se obtiene de los productores: Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo (EPEP) del Centro y de Occidente, con previo paso por el intercambiador de calor (IE 117), por el cual transitan 150 m³/h (con una capacidad ideal de 180-200m³/h). Luego, se trasladan 170 m³/h al área 1 para la producción de mezclas de crudo mejorado por un equipo mezclador, el cual será transportado por barcos a diversas termoeléctricas nacionales. Para su envío en barcos, se distribuyen 145 m³/h por dos filtros cestas ubicados delante del paso a las bombas, los cuales tienen el propósito de retener la suciedad contenida en el crudo; en este proceso, un 2 % de producto es desechado. El caudal proveniente del filtro se dirige a tres bombas con una capacidad de 660 m³/h cada una, conectadas en paralelo para impulsar el producto hacia los buques. A la salida de las bombas está instalado un intercambiador de calor con una capacidad de 200 m³/h, el cual desecha 2,1 m³ de ese condensado cada hora que trabaje por roturas. Detrás del intercambiador hay líneas que llevan el petróleo a diferentes terminales donde abordan los buques y un operario se encarga de realizar la inspección, verificando que el producto final cumpla con lo solicitado por el cliente. Todo el proceso finaliza con el almacenamiento en los buques.

Estos datos anteriormente mencionados sobre la carga o capacidad soportada por cada equipo, la cantidad de obreros o equipos en cada operación, las pérdidas que ocurren en el proceso y el flujo de producto han sido obtenidos mediante la revisión de documentos en la empresa y la realización de entrevistas a la tecnóloga principal del área, quien es ingeniera química y cuenta con 43 años de experiencia.

En la Figura 4, se representó el sistema de operaciones del proceso a través del diagrama de OTIDA, ampliamente utilizado en otras investigaciones, para estudiar las actividades, materias primas o equipos que no aportan valor o la necesidad de comprar nuevos (Cherrez Sanmartin et al., 2021; Santiago Martínez et al., 2023).

Figura 4
Representación del sistema de operaciones del proceso RAEC: balance de carga y capacidad



Nota. El PCN (producto de combustible nacional) es el combustible de producción local, generalmente refinado.

Se realizó el balance de carga del proceso y se determinó el número necesario de medios de trabajo y fuerza de trabajo para cumplir con la demanda. La Tabla 2 muestra un resumen de las capacidades, cargas, cantidad de equipos u obreros y porcentaje de utilización de cada operación, donde el cuello de botella se encontró en la operación 3 de filtrado por tener el menor valor de cri. Después de analizar la información obtenida, se concluye que el proceso actualmente ofrece un nivel de servicio al cliente de 138 m^3/h de petróleo crudo.

Tabla 2

Capacidades, cargas, cantidad de equipos u obreros y porcentaje de utilización de cada operación

| Operación | Cri (m ³ /h) | Q (m ³ /h) | Ne/No | % de utilización |
|-----------|-------------------------|-----------------------|-------|------------------|
| 1 | 150 | 152 | 1,012 | 51 |
| 2 | 170 | 145 | 0,851 | 85 |
| 3 | 72,5 | 145 | 22 | 100 |
| 4 | 660 | 138 | 0,201 | 20 |
| 5 | 200 | 138 | 0,691 | 69 |

A partir de las deficiencias detectadas y el análisis realizado al proceso RAEC, se propone un conjunto de acciones correctivas al consejo de dirección de la entidad:

1. Es necesario sustituir el intercambiador de calor principal en la línea receptora del combustible, el cual debe tener una capacidad de 180-200 m³/h. A partir de los actuales proveedores internacionales de la empresa y del convenio marco con la empresa de placas industriales de acero carbono inoxidable en Beijing, China, el jefe de operaciones, con el apoyo del consejo de dirección, decidió comprar un intercambiador de calor de placas industriales de carbono inoxidable, cuyo precio aproximado es de 280 000 euros, considerando un menor costo y un periodo de recuperación de la inversión de cuatro años.
2. Se propone un diseño de tubos para el transporte del crudo hacia la base terrestre en supertanqueros, mediante tuberías de 21 pulgadas (533 mm) que se utilizarán para el transporte de nafta y una tubería de 25 pulgadas (635 mm) semejante a las líneas de suministro de combustible existentes. Esta medida garantiza ahorros operativos del 30 % al 50 % y reduce costos por barril de 15-20 dólares a 5-10 dólares, con una capacidad de flujo de 200 000 a 500 000 barriles al día y menores pérdidas por evaporación de hasta un 0,1 % en comparación con el 1 % actual. Además, mejora el control térmico, lo que mantiene el crudo sobre los 50 °C y evita solidificaciones, que influye en la dependencia logística. Aunque la inversión inicial es alta (100 millones de dólares aproximadamente), el retorno es en seis años gracias a menores costos de operación, lo que mejora el flujo de caja y la eficiencia energética.
3. En la operación 1 (intercambio de calor) es necesaria la compra de un nuevo equipo que soporte la carga de 152 m³/h o la reparación del intercambiador existente mediante la compra de tubos internos.

4. Se plantean comprar los tubos internos de estos intercambiadores de calor averiados. Se analizan las opciones más factibles para la economía de la empresa, cuya mejor oferta resulta la adquisición de cada tubo a 139,93 euros.

En cuanto a menor costo, la mejor opción sería la compra de los tubos internos del intercambiador, que es una inversión de 229 485,2 euros, que se recuperaría en 60 días. Pero, en cuanto a inversión a largo plazo, la mejor elección sería la compra de un nuevo equipo, el cual tiene un año de garantía con un costo de 280 000 euros, inversión que se recuperaría en 73 días. La empresa es quien tiene la decisión de comprar según su fondo financiero.

DISCUSIÓN

La gestión de procesos productivos requiere enfoques sistemáticos para identificar y resolver ineficiencias. En este sentido, el MGSP es una herramienta estructurada que permite abordar fallas, optimizar recursos y elevar la calidad, León Rodríguez et al. (2021) plantea que su aplicación en entornos industriales ha demostrado reducir tiempos muertos y costos operativos, y además facilita la mejora de procesos mediante su articulación con diagramas causales, como es el caso del diagrama de Ishikawa, ampliamente utilizado para el análisis de procesos (Mohammed Alawi et al., 2024).

Para la representación de procesos, se utilizó el diagrama AS-IS para describir las actividades del proceso RAEC, en coincidencia con otras investigaciones que lo emplean en la descripción del proceso de consulta externa en un policlínico (Marrero Otero et al., 2022) y en la gestión de flujos de pacientes con COVID-19 (Sánchez Suárez et al., 2021). Ello demuestra su utilidad para representar procesos de servicio, mientras que el diagrama de OTIDA permite representar procesos productivos donde es necesario analizar operaciones, transporte, inspección de bienes, demoras y almacenamientos; un ejemplo de ello es su utilización para la elaboración de tartas de boda (Ramírez-Betancourt et al., 2023).

Con el balance de carga se determinó el punto limitante o también conocido como cuello de botella, elemento que permite a los gestores tomar decisiones referidas a la capacidad. En la presente investigación se realizó la propuesta de instalación de nuevos equipos. Con esta instalación y la ejecución de modificaciones tecnológicas necesarias se obtendría como resultado un ahorro de 229 485,20 pesos cubanos en gastos al año, como en los mantenimientos, elemento que se destaca como importante en otras investigaciones como la de Alvarado-Betancourt y Sabando-Piguabe (2021), aplicado en la planta de tratamiento de agua de la empresa Dialilife, en los servicios y otros gastos como la sobreestadía de buques por afectación en la temperatura de los combustibles.

La implementación de tuberías para el transporte de crudo (25 pulgadas) y nafta (21 pulgadas) genera beneficios económicos inmediatos y sostenibles a corto plazo

(1 a 3 años), ya que garantiza el suministro ininterrumpido, evita penalizaciones por incumplimiento y reduce costos operativos al eliminar gastos logísticos variables. A largo plazo, en un periodo de 5 a 10 años o más, se logrará un ahorro acumulado de entre 5 y 10 millones de dólares, gracias a la eficiencia energética, menor mantenimiento (ahorro anual de 229 485 pesos cubanos) y reducción de pérdidas por evaporación. La infraestructura, con vida útil de 30 a 50 años, permitirá escalar la capacidad sin incrementar costos marginales y brindará estabilidad ante fluctuaciones del mercado.

Estos cambios tecnológicos permiten la ejecución de las operaciones en el plazo establecido, elemento que garantiza el suministro de petróleo crudo y combustible a los diferentes clientes en tiempo y con la calidad requerida. El impacto económico consolidado proyecta ahorros promedios anuales de 400 000 euros en combustible, logística y mantenimiento. En la proyección estratégica futura se recomienda priorizar la inversión en el intercambiador nuevo y las tuberías, que ofrecen mayor rentabilidad y eficiencia sostenible, y se debe considerar la utilización de financiamiento externo si es necesario para cubrir la inversión inicial.

Se realizó un análisis económico para elegir la opción más viable entre la compra de tubos para reparar los intercambiadores de calor existentes y la adquisición de un nuevo intercambiador de calor de placas industriales. Estos estudios económicos y de rentabilidad para seleccionar las opciones más viables se han implementado en otras investigaciones (Suárez Silgado et al., 2021).

CONCLUSIONES

A partir del análisis del proceso RAEC en la empresa objeto de estudio, se identificaron como principales problemas el incumplimiento con las temperaturas acordadas del producto entregado según los requerimientos de los clientes, la existencia de la piscina de residuales con alto contenido de producto contaminante y la falta de un recubrimiento total de los tubos que transportan el petróleo crudo.

Se realizó una propuesta de acciones correctivas al consejo de dirección de la empresa con el objetivo de solventar los principales problemas identificados. Estas acciones incluyeron la compra de nuevos intercambiadores de calor y de tubos internos para su reparación y mantenimiento, así como el rediseño de los tubos del sistema de transporte. Esta propuesta se elaboró con un enfoque en la optimización de las operaciones desde un estudio crítico de las alternativas más factibles.

La implementación de estas soluciones generará importantes beneficios económicos. A corto plazo (1 a 2 años), la sustitución del intercambiador de calor por uno nuevo (280 000 euros) mejorará la eficiencia energética, reducirá las pérdidas térmicas, garantizará una capacidad óptima (180 a 200 m³/h) y evitará cuellos de botella. El diseño

de tuberías (21 y 25 pulgadas) disminuirá los costos logísticos en un 50 % al eliminar dependencias logísticas y asegurará el suministro estable. Por otro lado, la reparación de tubos internos, con un costo de 13 993 dólares por unidad, ofrece una solución rápida pero temporal, con menores ahorros a largo plazo.

Entre las limitaciones de la presente investigación, se identifica la falta de estudios con profundidad sobre los fluidos por la tubería y las transferencias de calor, aspectos que permitirían trazar estrategias para cumplir con los requerimientos de calidad de los clientes. Asimismo, no se realizaron simulaciones de las propuestas de mejoras mostradas, lo que habría permitido determinar con mayor precisión las necesidades de nuevos equipos y su impacto en la rentabilidad de la empresa, elementos que pueden ser abordados en futuras investigaciones.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

Yasniel Sánchez Suárez: escritura: borrador original, redacción: revisión y edición, conceptualización, *data curation*, metodología, investigación. **Jonathan Rodríguez Trujillo:** redacción: revisión y edición, supervisión, conceptualización, visualización. **Shayla Castelar Alfonso:** metodología, conceptualización, análisis formal, administración de proyecto. **Arialys Hernández Nariño:** supervisión, *data curation*, *software*, validación, redacción: revisión y edición.

REFERENCIAS

- Alcalá Abraham, V. A., Alemán Causil, E. D., Sousa Santos, V., Noriega Angarita, E., & Gómez Sarduy, J. R. (2021). Identification of savings opportunities in a steel manufacturing industry. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 11(4), 43-50. <https://doi.org/10.32479/ijee.11142>
- Alvarado-Betancourt, E. J., & Sabando-Piguabe, L. F. (2021). Sistema de gestión de mantenimiento basado en confiabilidad. Caso de estudio: Planta de tratamiento de agua empresa DIALILIFE. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 4(8), 46-77. <https://doi.org/10.46296/ig.v4i8.0023>
- Ballagas Suárez, A., Pérez López, A., & Junco Galindo, E. (2023). Análisis del proceso de tratamiento de crudo en una unidad de producción empresarial de base. *Mare*, 5(2), 4-18. <https://doi.org/10.52948/mare.v5i2.938>

- Barrueta Gómez, N., Peña Martínez, S. L., & Fernández Sánchez, E. (2022). El estadígrafo Kendall y su aplicación. Un ejemplo práctico. *A3Manos*, 9(16). <http://portal.amelica.org/ameli/journal/784/7843889004/>
- Calzado-Girón, D. (2020). La gestión logística de almacenes en el desarrollo de los operadores logísticos. *Ciencias Holguín*, 26(1), 59-68. <https://www.redalyc.org/journal/1815/181562407005/181562407005.pdf>
- Carrión-Alcayde, B. M., Matos-Durán, R., Castellanos-Rodríguez, A., & Oca-Abella, O. M. (2022). Evaluación del sistema de compresión de la Combinada 2 de la Refinería de Petróleo Hermanos Díaz mediante el simulador Aspen HYSYS v8. 8. *Tecnología Química*, 42(3), 487-502. <https://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v42n3/2224-6185-rtq-42-03-487.pdf>
- Cherrez Sanmartin, N. J., Maza Sánchez, E. J., & Pacheco Molina, A. (2021). Diseño de flujogramas en el sector Cooperativo-Economía Popular y Solidaria para la mejora de procesos. *Polo del Conocimiento*, 6(9), 1545-1566. <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/3126>
- Fornet Cabrera, D. A., Miranda Pérez, R., Cabrera Álvarez, E. N., & Pérez De Armas, M. (2021). Balance de carga de las rutas del lector-cobrador en la Empresa Eléctrica de Cienfuegos. *Ekotemas*, 7(2), 44-53. https://www.researchgate.net/publication/358535550_Balance_de_carga_de_las_rutas_del_Lector-Cobrador_en_la_Empresa_Electrica_de_Cienfuegos
- Gergova, I., & Warren, P. (2024). Oil and community development in Gabon: The case of Gamba. *The Extractive Industries and Society*, 17, 101395. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2023.101395>
- González-Muñoz, S., Sánchez-Padilla, M. L., & Hernández-Benítez, R. (2023). Árbol de problemas como base en la investigación. *Educación y Salud*, 12(23), 125-129. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/ICSA/article/download/11153/10729>
- León Rodríguez, I. X., Espín Canga, L. H., & Gallegos Gallegos, S. B. (2021). Método general de solución de problemas y Diagrama de Ishikawa en el análisis de los efectos de los femicidios en el entorno familiar. *Conrado*, 17(79), 252-260. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1990-86442021000200252
- Maamoun, A. (2021). Revenge of the electric car in the 2020s: a case study. *Global Journal of Entrepreneurship*, 5(1), 19-30. https://www.igbr.org/wp-content/Journals/2021/GJE_Vol_5_No_1_2021.pdf#page=23
- Marín-González, F., Pérez-González, J., Senior-Naveda, A., & García-Guliany, J. (2021). Validación del diseño de una red de cooperación científico-tecnológica utilizando el coeficiente K para la selección de expertos. *Información Tecnológica*, 32(2), 79-88. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642021000200079>

- Marrero Otero, B. A., Trujillo García, L., Sánchez Suárez, Y., & Santos Pérez, O. (2022). Aplicación de procedimiento para la planificación de capacidad en los servicios. *Ciencias Holguín*, 28(3), 21-32. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181572159003>
- Martínez Zárate, I., Guevara Ramírez, I., Cruz Manzo, J., Heredia García, R., Osio Sánchez, D.M. (2024). Desarrollo y validación de un modelo Lean Six Sigma como método de mejora continua en las pymes. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(5), 9131-9152. http://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.14302
- Mascarenhas Cordeiro, F. M., Gomes, L., Forte Silva, U. P., Andrade, C. H., Pimentel Santa Rosa, L., & Damasceno da Silva, L. D. (2024). Análise da viabilidade econômica da injeção de vapor a partir da água produzida no poço Araçás Bahia. *Latin American Journal of Energy Research*, 11(2), 23-30. <https://doi.org/10.21712/lajer.2024.v11.n2.p23-30>
- Mohammed Alawi, A., Ramírez Betancourt, F. D., Salgado Cruz, M., González Silva, S., & Sánchez Suárez, Y. (2024). Analysis of the management quality efficiency in a perfumery company. *Salud, Ciencia y Tecnología-Serie de Conferencias*, 3, 1170. <https://doi.org/10.56294/sctconf20241170>
- Murillo Morocho, W. P. M., Quezada Jiménez, B. F., Castillejo-Olán, R., & de la Caridad Maqueira-Caraballo, G. (2024). Estrategia motivacional inclusiva para estudiantes con discapacidad intelectual leve en la clase de Educación Física. *Mapa*, 8(34), 121-142. <https://www.revistamapa.org/index.php/es/article/view/411>
- Nuralina, K., Baizholova, R., Aleksandrova, N., Konstantinov, V., & Biryukov, A. (2023). Socio-economic development of countries based on the Composite Country Development Index (CCDI). *Regional Sustainability*, 4(2), 115-128. <https://doi.org/10.1016/j.regsus.2023.03.005>
- Ortíz-Fernandez, J., Baldeón-Tovar, M., Medina-Pelaiza, L., Ortíz-Huamán, C., & Godiño-Poma, M. (2024). Gestión por procesos en las empresas. Una revisión sistémica. *Gestionar*, 4(1), 7-22. <https://doi.org/10.35622/j.rg.2024.01.001>
- Ramírez-Betancourt, F. D., Salgado-Cruz, M., Alawi, A. M., & Alfonso-Roque, L. (2023). Análisis de la eficiencia de la calidad de la gestión. Caso empresa química. *Ingeniería Industrial*, 44(1), 43-57. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59362023000100043&lng=es&nrm=iso
- Salto Salgado, M. F., Benavides Salazar, C. F., & Benavides Salazar, J. C. (2021). Adopción factores influyentes en el principio de celeridad del proceso. Análisis y alternativas sobre la base del método Delphi y método general de solución de problemas. *Conrado*, 17(79), 234-241. <http://www.scielo.sld.cu/pdf/rc/v17n79/1990-8644-rc-17-79-234.pdf>

- Sánchez Suárez, Y., Marqués León, M., Hernández-Nariño, A., & Santos-Pérez, O. (2023). Hospital rough cut capacity planning in a General Surgery service. *Dyna*, 90(225), 45-54. <https://doi.org/10.15446/dyna.v90n225.103774>
- Sánchez Suárez, Y., Marqués León, M., Hernández Nariño, A., & Suárez Pérez, M. M. (2023). Metodología para el diagnóstico de la gestión de trayectorias de pacientes en hospitales. *Región Científica*, 2(2), 2023115. <https://doi.org/10.58763/rc2023115>
- Sánchez Suárez, Y., Pérez Castañeira, J. A., Sangroni Laguardia, N., Cruz Blanco, C., & Medina Nogueira, Y. E. (2021). Retos actuales de la logística y la cadena de suministro. *Ingeniería Industrial*, 42(1), 1-12. <https://rii.cujae.edu.cu/index.php/revistaind/article/download/1079/992>
- Sánchez Suárez Y, Sánchez Castillo V, Gómez Cano C. A. (2025). Implementación de mapas de flujo de valor en la mejora de trayectorias intrahospitalarias de pacientes. *Revista Cubana de Salud Pública*, 51, e19273. <https://revsaludpublica.sld.cu/index.php/spu/article/download/19273/2009>
- Santiago Martínez, G., De la O Téllez, M. Á., & Aguilera Martínez, A. F. (2023). Aplicación de una guía metodológica para el estudio de organización del trabajo en la UEB servicios mineros. *Revista Cubana de Administración Pública y Empresarial*, 7(1), e193. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8265961>
- Shahnazi, R., Sajedianfard, N., & Melatos, M. (2023). Import and export resilience of the global oil trade network. *Energy Reports*, 10, 2017-2035. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.08.065>
- Sheng, Y., & Wang, Q. (2022). Influence of carbon tariffs on China's export trade. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 24651-24659. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17757-z>
- Suárez Silgado, S. S., Calderon Valdiviezo, L. J., & Mahecha Vanegas, L. F. (2021). Application of life cycle assessment (LCA) methodology and economic evaluation for construction and demolition waste: a Colombian case study. *Earth Sciences Research Journal*, 25(3), 341-351. <https://doi.org/10.15446/esrj.v25n3.82815>
- Wu, X., Lei, Y., Li, S., Huang, J., Teng, L., Chen, Z., & Lai, Y. (2021). Photothermal and Joule heating-assisted thermal management sponge for efficient cleanup of highly viscous crude oil. *Journal of Hazardous Materials*, 403, 124090. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124090>
- Yan, B., Liu, H., & Peng, X. (2024). Scenario analysis to evaluate the economic benefits of tight oil resource development in China. *Energy Strategy Reviews*, 51, 101318. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101318>

IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS DE MANUFACTURA ESBELTA PARA LA GESTIÓN DE MATERIALES EN UN ALMACÉN

ARTURO REALYVÁSQUEZ-VARGAS*

<https://orcid.org/0000-0003-2825-2595>

Departamento de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México,
Instituto Tecnológico de Tijuana, México

BRENDA MICHELLE CASTILLO RAMÍREZ

<https://orcid.org/0009-0005-7840-9492>

Departamento de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México,
Instituto Tecnológico de Tijuana, México

JORGE LUIS GARCÍA-ALCARAZ

<https://orcid.org/0000-0002-7092-6963>

Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura,
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México

GUADALUPE HERNÁNDEZ ESCOBEDO

<https://orcid.org/0000-0002-7516-972X>

Departamento de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México,
Instituto Tecnológico de Tijuana, México

JOSÉ ROBERTO DÍAZ-REZA

<https://orcid.org/0000-0002-0099-9171>

Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura,
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México

Recibido: 5 de mayo del 2025 / Aceptado: 10 de julio del 2025

Publicado: 19 de diciembre del 2025

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2025.n049.7976>

Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

* Autor corresponsal.

Correos electrónicos en orden de aparición: arturo.realyvazquez@tectijuana.edu.mx; guadalupe.hernandez@tectijuana.edu.mx; brenda.castillo17@tectijuana.edu.mx; jorge.garcia@uacj.mx; inv.pos07@uacj.mx

Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

RESUMEN. Este artículo presenta el caso de una empresa dedicada a la venta, instalación y servicio de aire acondicionado y calefacción. La empresa no tiene un control interno de inventarios en sus almacenes. En el periodo 2022-2023, se registraron 3043 problemas relacionados con la gestión de almacenes, con una media de 84,53 problemas por mes. Esto provocó problemas económicos, retrasos en los proyectos, plazos de entrega inadecuados y la imposibilidad de garantizar sus objetivos de certificación de calidad a corto plazo. El objetivo de este estudio es reducir estos problemas. Como metodología, se implementan herramientas de manufactura esbelta, tales como 5S, *kaizen* (mejora continua) y *kanban*. Tras la implementación de la mejora, los problemas en los almacenes se redujeron a 79, con una media de 26,3 problemas por mes a finales de junio y principios de noviembre del 2023. Se concluye que la aplicación de herramientas de manufactura esbelta mejora los índices de eficiencia en la gestión de los almacenes.

PALABRAS CLAVE: gestión de *stocks* / logística empresarial / almacenes / producción eficiente 5S / *kaizen* / *kanban*

IMPLEMENTATION OF LEAN MANUFACTURING TOOLS FOR MATERIAL MANAGEMENT IN A WAREHOUSE

ABSTRACT. This article presents a case of a company dedicated to the sale, installation, and service of air conditioning and heating. The company has no internal inventory control in its warehouses. In the period 2022-2023, a total of 3 043 problems related to warehouse management were recorded, with an average of 84,53 problems/month. These deficiencies have led to economic setbacks, project delays, inadequate delivery times and the impossibility of guaranteeing their quality certification objectives in the short term. The objective of this study is to reduce these problems. As a methodology, lean manufacturing tools such as 5S, *kaizen* and *kanban* are implemented. After the implementation of the improvement, the problems in the warehouses were reduced to 79, with an average of 26,3 problems/month by the end of June and beginning of November 2023. It is concluded that the application of lean manufacturing tools improves efficiency rates in warehouse management.

KEYWORDS: inventory control / business logistics / warehouses / lean manufacturing / 5S / *kaizen* / *kanban*

INTRODUCCIÓN

Diariamente, las empresas manufactureras deben gestionar diferentes artículos, y su éxito comercial depende del flujo continuo de las piezas en la cadena de suministro (Vukićević et al., 2021). Sin embargo, el funcionamiento de los almacenes se complica más debido a la creciente abundancia de mercancías, ya que las estrategias habituales de gestión de almacenes no son adecuadas (Jarašūnienė et al., 2023), lo que causa ineficacia operacional (Kar & Jha, 2020). Estudios evidencian los problemas que surgen por una mala gestión de materiales en los almacenes; por ejemplo, en la industria de la construcción en la India identificaron 33 problemas y seis factores (entrega incorrecta de materiales, planificación inadecuada de materiales, falta de información y comunicación, problemas financieros en la adquisición, cambios en el alcance de los materiales y dificultad en el transporte) que alteraban el calendario y los costes de los proyectos (Kar & Jha, 2020). Para ello, se realizó una revisión de la literatura, se entrevistó a 15 expertos en gestión de materiales con más de diez años de experiencia en este campo y se recogieron datos mediante un cuestionario aplicado a 86 profesionales de la contratación pública. Otro estudio menciona que las imprentas cuentan con un elevado flujo de materiales, cuya gestión podría mejorarse significativamente (Vukićević et al., 2021). En dicho estudio, el flujo de materiales de una imprenta se mejoró mediante códigos QR, *software* de código abierto para visión artificial y equipos de vigilancia.

Varios autores aplicaron herramientas de manufactura esbelta, como 5S, *kaizen* y *kanban*, para solucionar problemas de almacén. Por ejemplo, Rizkya et al. (2021) aplicaron las 5S en un almacén con problemas de piezas de repuesto dañadas que requieren un manejo especial, debido al aplastamiento por materiales metálicos. Además, la zona de almacén estaba sucia y desorganizada, no tenía límites de almacenamiento y los artículos no se guardaban en el lugar adecuado. Como resultado, a los trabajadores se les dificultaba encontrar los elementos que necesitaban. La evaluación de las 5S dio una puntuación de 1,82 y concluyó en que era necesario emplearlas para mejorar el almacén. De manera similar, Wani y Shinde (2021) aplicaron las 5S en un almacén de la industria del mueble. Sus resultados demostraron que este método es una herramienta eficaz para mejorar el rendimiento organizativo, la productividad y la higiene. Por su parte, Espinoza-Sánchez et al. (2021) analizaron la problemática de productos no conformes en un almacén, que afectaba la entrega a tiempo y los pedidos perfectos, y el indicador logístico OTIF (*on time in full*) de empresas manufactureras en Perú. Para reducir el impacto del problema, aplicaron 5S. Con ello, el tiempo de proceso se redujo 19,12 %, la distancia recorrida para preparar un pedido se redujo de 244,5 metros a 173,5 metros y el valor de OTIF aumentó 44,33 %.

Por su parte, Gatundu (2024) realizó una revisión de la literatura para analizar la mejora de los procesos de almacenaje mediante la aplicación de herramientas como 5S, *kanban*

y *kaizen*. La investigadora encontró que los resultados demostraban que la aplicación de estas herramientas en los procesos de almacenaje mejora la productividad, crea entornos de trabajo más seguros, motiva a los empleados, reduce los plazos de entrega y optimiza el servicio al cliente. En otro caso, Echeverría-García et al. (2022) analizaron el problema de los productos rotos que afecta negativamente a una empresa minorista de acabados de construcción. Inicialmente, la empresa tenía un índice de rotura de productos del 2,15 %, lo que equivale a 707 704,58 soles de coste total y costes implicados. Para solucionar el problema, desarrollaron un modelo en el cual aplicaron las 5S y *kaizen* a la gestión de almacenes. A través de la simulación, determinaron que la aplicación del modelo reducía el problema principal en 1,65 % y permitía estandarizar las actividades y mejorar el orden y la distribución del almacén.

Finalmente, Cavi et al. (2024) se enfocaron en la reorganización de un almacén de diálisis con el fin de optimizar los procesos logísticos y de aprovisionamiento. Para ello, aplicaron *kanban*. Como resultado, la empresa tuvo control de las existencias disponibles, se mejoraron los espacios definidos para el almacenamiento del material de diálisis y se redujo el tiempo dedicado a actividades sin valor para la reorganización del material.

Este artículo presenta un estudio de caso en una empresa dedicada a la venta, instalación y servicio de aire acondicionado y calefacción industrial, comercial y residencial. La empresa se ubica en la ciudad de Tijuana, México, y opera con 112 empleados, quienes aportan sus conocimientos y habilidades para transformar proyectos a nivel comercial, cultural, educativo, gubernamental, de salud y del sector industrial. La empresa cuenta con tres almacenes, denominados A, B, y C, donde reserva sus bienes; sin embargo, no cuenta con un control interno de los inventarios de sus productos. La Figura 1 muestra evidencia de la situación actual de los almacenes de la empresa, donde se observan productos sin un orden ni ubicación estandarizada, así como la falta de limpieza y organización de los suministros para tablarrocas y material de carpintería.

Figura 1

A) Situación actual del almacén A, B) Situación actual del almacén B, C) Situación actual del almacén C



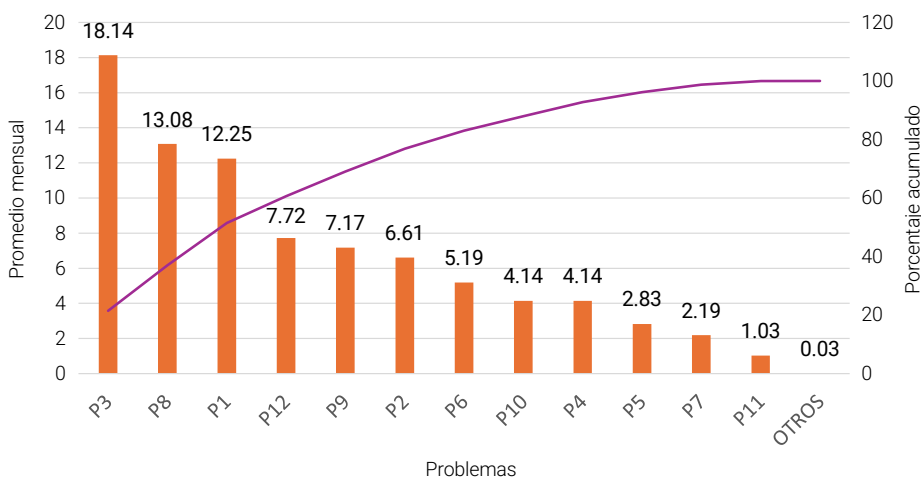
Esto ha provocado que no se cuente con cifras exactas de las existencias reales disponibles. Algunas de estas existencias se encuentran fuera del lugar destinado para su almacenamiento o están en ubicaciones inaccesibles para los usuarios. Estos problemas impactan en la planificación y tiempo de entrega pactado con los clientes. Además, no se cuenta con una metodología para administrar el consumo de inventarios ni con indicadores para garantizar la veracidad de datos o conocer las afectaciones dentro de los procesos.

Al no contar con indicadores y desconocer los procesos, el personal de gerencia, producción y almacén toma decisiones mediante el conocimiento empírico, lo cual provoca errores de corto plazo. Al generarse pérdidas durante cada proyecto, las discrepancias en los inventarios físicos y virtuales conllevan retrasos en el suministro de material, mal uso y manejo de este, y aumento en los costos de almacén y de producción. La Tabla 1 muestra, en orden descendente, los problemas identificados en los almacenes en el periodo 2020-2023, donde se observa que P3, P8, P1, P12, P9 y P2 representan prácticamente el 80 % de las incidencias. La Figura 2 revela esta misma información mediante un diagrama de Pareto.

De lo anterior, surge la necesidad de implementar herramientas de manufactura esbelta para la gestión de los almacenes, con el fin de reducir los problemas. Estas herramientas son las 5S, *kaizen* (mejora continua) y *kanban*.

Tabla 1
Problemas identificados en la gestión de almacenes

| Código | Problemas | Eventos | Promedio mensual | % | Promedio mensual acumulado | Acumulado total (%) |
|--------|---|---------|------------------|-------|----------------------------|---------------------|
| P3 | Falta de registro de uso de maquinaria y material | 653 | 18,14 | 21,46 | 18,14 | 21,46 |
| P8 | Reportes por discrepancias entre lo contado y lo registrado | 471 | 13,08 | 15,48 | 31,22 | 36,94 |
| P1 | Deterioro de materiales | 441 | 12,25 | 14,49 | 43,47 | 51,43 |
| P12 | Reportes por mal uso de material | 278 | 7,72 | 9,14 | 51,20 | 60,57 |
| P9 | Pérdida del registro del material | 258 | 7,17 | 8,48 | 58,36 | 69,05 |
| P2 | Compra de materiales repetidos | 238 | 6,61 | 7,82 | 64,97 | 76,86 |
| P6 | Reportes por falta de espacio de almacenamiento | 187 | 5,19 | 6,15 | 70,17 | 83,01 |
| P10 | Accidentes dentro de almacén por falta de señales | 149 | 4,14 | 4,90 | 74,31 | 87,92 |
| P4 | Uso inadecuado de materiales e insumos | 149 | 4,14 | 4,90 | 78,45 | 92,82 |
| P5 | Reportes por poca comunicación entre los usuarios del almacén | 102 | 2,83 | 3,35 | 81,28 | 96,17 |
| P7 | Materiales extraviados | 79 | 2,19 | 2,60 | 83,47 | 98,77 |
| P11 | Atraso de obras por falta de material | 37 | 1,03 | 1,22 | 84,50 | 99,97 |
| OTROS | Reportes por mal aspecto de almacén | 1 | 0,03 | 0,03 | 84,53 | 100 |
| Total | | 3043 | 84,53 | 100 % | | 100 % |

Figura 2*Diagrama de Pareto de los problemas de almacén*

Por lo anterior, el objetivo general de este proyecto es reducir los problemas que afectan el control y la gestión de los almacenes de la empresa mediante la implementación de las herramientas de manufactura esbelta. Como objetivos específicos, se pretende reducir el 50 % de los problemas de falta de control de existencias en los almacenes; validar, mediante documentación fidedigna, el registro de los materiales existentes posterior a la aplicación de las mejoras; y determinar cómo la implementación de eventos *kaizen* permite aumentar el correcto uso y control de los usuarios de los almacenes, mediante la correcta aplicación de las herramientas de manufactura esbelta.

Este estudio toma como base tres conceptos teóricos clave: las herramientas de manufactura esbelta 5S, *kaizen* y *kanban*.

La herramienta de las 5S es una metodología japonesa para mejorar la organización y limpieza en el lugar de trabajo (Gupta, 2022). Se basa en los siguientes cinco principios: 1) clasificación, 2) organización, 3) limpieza, 4) estandarización y 5) disciplina. El primero consiste en identificar los elementos necesarios en el área de trabajo y eliminar los innecesarios (Mazur et al., 2024), y ayuda a eliminar el desorden, garantizando que solo los elementos esenciales estén presentes en el lugar de trabajo (Rizky et al., 2023). El segundo implica ordenar los elementos necesarios de manera eficiente a fin de que estén fácilmente disponibles para su uso (Azizi et al., 2021), lo cual ayuda a minimizar el desperdicio de tiempo y reduce la posibilidad de cometer errores (Cervantes-Zubirías et al., 2022). El tercero se enfoca en limpiar el lugar de trabajo y mantenerlo en condiciones óptimas (Zarza-Díaz et al., 2023), lo que permite identificar problemas potenciales y

prevenir accidentes en el lugar de trabajo (Huangfu et al., 2021). El cuarto implica establecer estándares y procedimientos para mantener los tres primeros pasos de las 5S (Hernández Centeno & Sifuentes Huayanay, 2022), asegurando la consistencia y la aplicación de las mejores prácticas en el lugar de trabajo. Finalmente, el quinto se centra en preservar el compromiso y la disciplina necesarios para seguir los estándares establecidos en los pasos anteriores (Maki, 2023).

Por un lado, *Kaizen* se centra en la mejora continua a través de pequeños cambios incrementales (Sharma, 2022) basados en la idea de buscar constantemente formas de mejorar la fabricación subyacente. Utilizando *kaizen*, las empresas aumentan la productividad y la competitividad en el mercado mundial, pues proporciona un enfoque estructurado y sistemático para identificar y eliminar los residuos en todas sus formas (Okpala et al., 2024), incluida la sobreproducción, el exceso de procesamiento, el inventario, el movimiento, los defectos, la espera y el transporte (Sharma, 2022).

Por ello, *kaizen* es un elemento fundamental de la producción industrial moderna, ya que se centra en la mejora continua a través de pequeños cambios incrementales (Sadiq et al., 2021) al optimizar los cimientos de la fabricación. La metodología *kaizen* implica identificar y eliminar sistemáticamente el exceso de procesamiento, los inventarios, los movimientos, los defectos, las esperas y el transporte (Tripathi et al., 2021). Además, como estrategia de producción orientada a mejorar la calidad (Syaputra & Aisyah, 2022), *kaizen* reduce el tiempo de entrega y los costos (Sadiq et al., 2021), por lo que es aplicable a organizaciones de todos los tamaños.

Además, *kaizen* fomenta el involucramiento de empleados en el proceso de mejora, lo que genera una cultura de colaboración y resolución de problemas (Gupta & Jain, 2014). Sin embargo, la implementación de *kaizen* presenta desafíos, como la necesidad de compromiso y liderazgo por parte de la alta dirección, la resistencia al cambio por parte de los empleados y los costos iniciales asociados a la capacitación e implementación de cambios (Saxena, 2022). Además, los resultados de *kaizen* no siempre son inmediatos (Mathiyazhagan et al., 2022).

Por otro lado, *Kanban* es un método de gestión visual que equilibra el trabajo en curso para mejorar la eficiencia y la eficacia (Damij & Damij, 2024), mismo que se originó en Japón y se ha adaptado a diversos sectores, como el desarrollo de *software*, la gestión de proyectos y la gestión de tareas personales (Senapathi & Drury-Grogan, 2020). *Kanban* se traduce del japonés como 'señal visual' o 'tarjeta' y ayuda a gestionar el flujo de trabajo al mostrarlo en un tablero dividido en columnas que representan sus diferentes etapas. Cada tarea o elemento de trabajo está simbolizado por una tarjeta (Al Robaaiy et al., 2023), las cuales se mueven horizontalmente por el tablero a medida que el trabajo avanza de una etapa a la siguiente (Damij & Damij, 2024).

Los tableros *kanban* suelen dividirse en tres secciones principales: “Atrasado”, “Trabajo en curso” y “Hecho” (Hamdulay, 2023). La sección “Atrasado” contiene todas las tareas que deben realizarse pero que aún no se han iniciado, la sección “Trabajo en curso” muestra las tareas en las que se está trabajando actualmente y la sección “Hecho” presenta las tareas que se han completado (Damij & Damij, 2024).

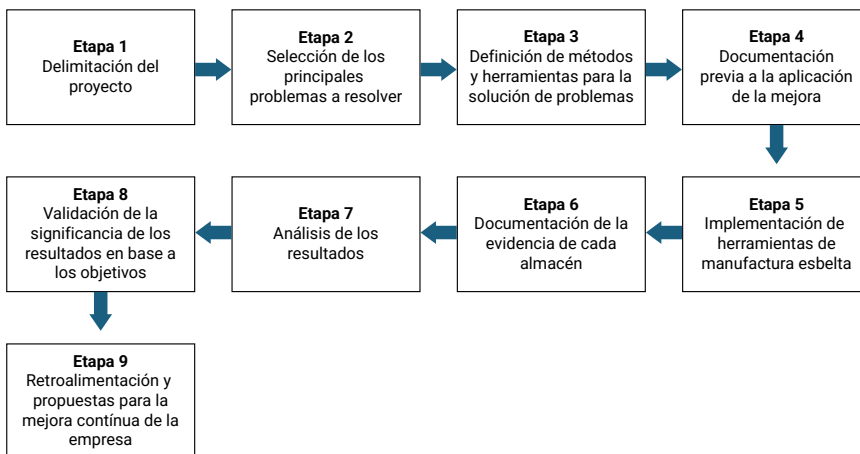
Kanban se basa en varios principios clave que guían su implementación y uso, los cuales incluyen: visualizar el flujo de trabajo (Shiyanbola et al., 2023), limitar el trabajo en curso (Sunny et al., 2024), gestionar el flujo (García-Alcaraz et al., 2021), explicitar las políticas de procesos (Dahule, 2023), implementar bucles de retroalimentación (Weflen et al., 2022), mejorar la colaboración (Jizdan et al., 2024), implementar *kanban* en el desarrollo de *software* (Chinta, 2021) y aplicarlo en la gestión de proyectos (Senapathi & Drury-Grogan, 2020).

METODOLOGÍA

El método que se aplicó para la resolución de esta problemática se divide en nueve etapas, las cuales se describen a continuación. La metodología aplicada fue de tipo transversal y mixta, es decir, tanto cualitativa como cuantitativa. La Figura 3 muestra el diagrama de flujo de la metodología.

Figura 3

Diagrama de flujo de la metodología



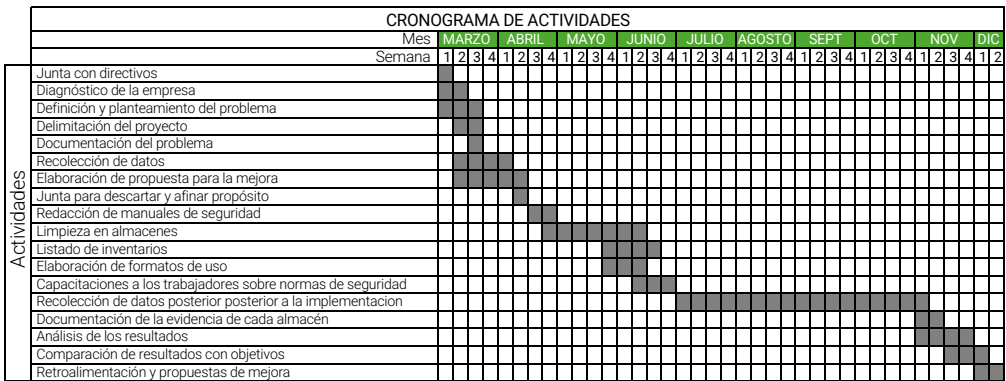
Etapa 1: Delimitación del proyecto

En la delimitación del proyecto se seleccionaron las actividades necesarias para su implementación, tomando en cuenta los alcances y medios disponibles dentro del Departamento

de Gestión de Proyectos, así como la disposición y el tiempo requeridos para llevar a cabo la mejora en los tres almacenes. En esta etapa, se realizan actividades como reuniones con directivos, definición del estado actual de los almacenes y de los problemas principales, herramientas y recursos con los que se cuenta.

La empresa decide y puntualiza las actividades más importantes de todo el proyecto mediante la información y los resultados de los registros del estado de cada uno de los almacenes. En esta primera etapa, se aplican encuestas a los trabajadores de los almacenes y se definen las áreas específicas de trabajo. Para ello, se realiza un cronograma de actividades, que abarca desde la primera semana de marzo, hasta la segunda semana de diciembre del 2023, como se muestra en la Figura 4.

Figura 4
Cronograma de actividades del proyecto



Etapas 2: Selección de los principales problemas por resolver

En esta etapa, se busca detectar y eliminar las causas raíz de la problemática. En este caso, los problemas principales afectan directamente el estado financiero de cada uno de los almacenes de la empresa y es, por esto, por lo que las posibles soluciones deben ir enfocadas en cada problema. Para la selección de los principales problemas, se utiliza la información mostrada en la Tabla 1.

Etapas 3: Definición de métodos y herramientas para la solución de problemas

En esta etapa, se proponen las herramientas de gestión empresarial para optimizar el área de almacén de la empresa en estudio. Se propusieron tres herramientas de manufactura esbelta: *kaizen*, 5S y *kanban*. Sin embargo, para poder aplicar la metodología *kaizen*, primero se debe tener una base de las 5S, lo que permite ubicar y manejar la materia prima de los almacenes.

Para facilitar el uso de inventarios y conocer cómo se mueve la materia prima dentro de los almacenes y en la empresa, se utiliza *kanban*, con el cual se codifican los productos y se estandarizan todos los procesos y actividades. Una vez completado, se aplican eventos *kaizen* para analizar los problemas que se encuentren en el proceso, sus causas raíz, y, finalmente, en la aplicación de una estrategia para obtener los beneficios de mejora continua.

Etapas 4: Documentación previa a la aplicación de la mejora

En esta etapa, se documenta la situación inicial de cada uno de los tres almacenes mediante fotografías y un listado de los materiales existentes, lo que permitirá comparar el antes y después de las mejoras implementadas; la evidencia se ilustra en la Figura 1. Después, se realizó un diagnóstico del estado inicial de cada una de las 5S en los tres almacenes, como se muestra en la Tabla 2. Para ello, se tomó en cuenta un formato de las 5S utilizado por la empresa. Cada S fue ponderada en una escala del 0 al 4, donde 0 corresponde a muy malo; 1, a malo; 2, a promedio; 3, a bueno; y 4, a muy bueno. La puntuación total máxima posible es de 20, es decir, una puntuación de 4 en cada una de las 5S. Si un almacén alcanza una puntuación total de 20, significa que dicho almacén tiene implementada cada una de las 5S al 100 %. Posteriormente, esta evaluación inicial se comparó con el resultado después de la implementación de las 5S. En el caso de los valores de la Tabla 2, en la columna Total, el almacén A tiene una puntuación de 4, que representa el 20 % de 20; los almacenes B y C tienen una puntuación de 6, que representa el 30 % de 20. Este porcentaje es en base al 100 % de la implementación.

Tabla 2

Evaluación de los almacenes antes de la aplicación de las 5S

| Almacén | Clasificación | Organización | Limpieza | Estandarización | Disciplina | Total | % |
|---------|---------------|--------------|----------|-----------------|------------|-------|----|
| A | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 4 | 20 |
| B | 1 | 3 | 2 | 0 | 0 | 6 | 30 |
| C | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 6 | 30 |

Etapas 5: Implementación de herramientas de manufactura esbelta

La primera herramienta de manufactura esbelta implementada fueron las 5S. Para ello, se capacitó al personal del área de almacén sobre los siguientes temas: 1) introducción a la metodología de las 5S; 2) estructura, fases y auditoría de las 5S; 3) clasificación e identificación de elementos desechables; 4) orden del almacén; 5) almacenaje basado en el *layout*; 6) limpieza del almacén; 7) primeros auxilios; 8) estandarización de actividades; 9) registro y envío de reportes; y 10) disciplina de la mejora continua. La capacitación se inicia con una conferencia sobre la introducción a la metodología 5S, efectuada en las instalaciones

del Audiovisual Principal de la empresa. A esta conferencia, de los 112 empleados de la empresa, asistieron 5 tablarroqueros, 13 electricistas, 3 arquitectos y 2 encargados de obra, quienes son los principales usuarios de los almacenes. Posterior a ello, la segunda capacitación se impartió en el patio de obra de la empresa. En esta capacitación, participaron 38 obreros pertenecientes a la flotilla de la empresa. Estas capacitaciones se programaron de junio a julio del 2023 y estaba dirigida a los tablarroqueros, electricistas, arquitectos y encargados de obra, quienes son los principales usuarios de los almacenes.

En este punto, se tomó en cuenta la participación del personal involucrado en el proyecto utilizando las 5S piloto en los almacenes A, B y C. La iniciativa estaba compuesta por un grupo de personal necesario (no más de 5 personas), integrado por operarios de los almacenes, así como el encargado de estos. La implementación de la mejora empieza por la primera S (clasificación) y avanza hasta completar la quinta S (disciplina) en cada uno de los almacenes.

La segunda herramienta implementada fue *kanban* y se realizó mediante la introducción de hojas de descripción de los productos que la empresa maneja para la realización de sus proyectos. En los almacenes de la empresa, no se llevaba un control de materiales y no existía un registro de entradas y salidas o algún formato para corroborar dicha información.

La aplicación del evento *kaizen* consistió en la implementación de un nuevo formato base que auxilió a los 5 participantes muestreados en el seguimiento de información para determinar si se están llevando a cabo los procesos de la manera correcta o si es necesario ajustar algún paso dentro del proceso de almacenamiento. Con esto, se buscó la mejora continua de los procesos y un mejor rendimiento de todos y cada uno de los trabajadores de la empresa. Se decidió implementar este método debido a que produce mejoras significativas, visibles y cuantificables, como la reducción de desperdicios por materiales mal utilizados, el uso de espacios ocupados por material obsoleto y el ahorro al vender material que ya no sea necesario.

Etapas 6: Documentación de la evidencia de cada almacén

Una vez implementada cada herramienta en cada una de las tareas indicadas en el cronograma (ver Figura 4), se procede a documentar. La evidencia queda documentada en el registro y acceso para el personal de la empresa. El registro de los nuevos formatos de uso y manejo de los almacenes representa la evidencia para la empresa y se usa para comparar futuras mejoras y como respaldo documental físico y digital.

Etapas 7: Análisis de los resultados

Una vez implementada la metodología, se evalúa el estado de cada almacén, ponderando cada una de las 5S aplicada de la misma forma en que se evaluó el estado inicial de los

almacenes, como se muestra en la Tabla 2. Posteriormente, se hace una comparación de la calificación de cada almacén antes y después de implementadas las 5S. Se trabaja en los problemas P8, P3 y P12 con el fin de reducirlos significativamente para el logro del objetivo principal.

Etapas 8: Validación de la significancia de los resultados con base en los objetivos

Los resultados después de la aplicación de la mejora son documentados y comparados con la situación inicial de cada uno de los almacenes. Este proyecto tiene como finalidad mostrar un resultado favorable, es por eso que se debe medir en función de si el proyecto cumple con los objetivos que fueron formulados al inicio.

Etapas 9: Retroalimentación y propuestas para la mejora continua de la empresa

La ingeniera a cargo, junto con todo su equipo de trabajo, ponen en marcha la aplicación de la mejora. Los diferentes equipos de trabajo realizan sus correspondientes tareas de acuerdo con lo establecido en un plan de trabajo. El equipo de almacenes, junto con la ingeniera, jefa de los tres almacenes, determina cuáles son los criterios para evaluar la implementación de las mejoras, tanto a nivel operativo del almacén como a nivel gerencial. Esto le proporciona al equipo de trabajo la información necesaria para determinar si la aplicación de la metodología fue exitosa y si el proyecto puede ser utilizado para llevar a la empresa a futuras metas de normalización y regularización de estándares de calidad.

RESULTADOS

Resultados en relación con el objetivo general

El objetivo general se logró, ya que se obtuvo una reducción en el promedio de eventos de los problemas significativos para la empresa. La Tabla 3 muestra el promedio mensual de la frecuencia de los problemas antes y después de aplicar la mejora. Se observa que antes de la mejora hubo un promedio de 84,52 eventos al mes y después de la mejora se registraron solamente 26,30 eventos al mes, lo que representa una reducción total del 68,88 %. De manera más específica, se puede observar que se logró una reducción de incidencia en cinco de los seis problemas significativos (P1, P2, P3, P9, P12). Solo el problema P8 presentó un incremento en incidencia.

Tabla 3

Comparación de eventos mensuales de los problemas en los almacenes antes y después de la mejora

| Código | Problemas | Promedio mensual (antes) | Promedio mensual (después) |
|--------|---|--------------------------|----------------------------|
| P1 | Deterioro de materiales | 12,25 | 0,70 |
| P2 | Compra de materiales repetidos | 6,61 | 1,70 |
| P3 | Falta de registro de uso de maquinaria y material | 18,14 | 5,30 |
| P4 | Uso inadecuado de materiales e insumos | 4,14 | 3,30 |
| P5 | Reportes por poca comunicación entre los usuarios del almacén | 2,83 | 2,00 |
| P6 | Reportes por falta de espacio de almacenamiento | 5,19 | 0,30 |
| P7 | Materiales extraviados | 2,19 | 0,70 |
| P8 | Reportes por discrepancias entre lo contado y lo registrado | 2,83 | 8,3 |
| P9 | Pérdida del registro del material | 7,17 | 0,30 |
| P10 | Accidentes dentro de almacén por falta de señales | 4,14 | 0,00 |
| P11 | Atraso de obras por falta de material | 1,03 | 0,00 |
| P12 | Reportes por mal uso de material | 7,72 | 3,70 |
| OTROS | Reportes por mal aspecto de almacén | 7,17 | 0 |
| Total | | 81,41 | 26,30 |

Resultados en relación con el primer objetivo específico

La Figura 5 muestra gráficamente el antes y después de la mejora aplicada en los almacenes A, B y C. La aplicación conjunta de la limpieza y organización de cada almacén permitió cumplir el primer objetivo específico de reducir un 50 % de los problemas de falta de control de existencias en los almacenes.

Figura 5

A) Almacén A antes de la mejora, B) Almacén A después de la mejora, C) Almacén B antes de la mejora, D) Almacén B después de la mejora, E) Almacén C antes de la mejora, F) Almacén C después de la mejora



Por otro lado, la Tabla 4 muestra la ponderación obtenida antes y después de la implementación de las 5S en cada uno de los tres almacenes. La primera evaluación se llevó a cabo las primeras dos semanas de marzo del 2023 y la segunda se llevó a cabo en la primera semana de noviembre del 2023. Se observa que se obtuvo un aumento significativo en las calificaciones obtenidas para cada almacén.

Tabla 4

Comparación de las puntuaciones de los almacenes antes y después de la implementación de las 5S

| Almacén | C | | O | | L | | E | | D | | Total | | % | |
|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|----|----|----|
| | AA | BB | AA | BB | AA | BB | AA | BB | AA | BB | AA | BB | AA | BB |
| A | 1 | 3 | 1 | 3 | 2 | 4 | 0 | 3 | 0 | 3 | 4 | 15 | 20 | 75 |
| B | 1 | 3 | 3 | 4 | 2 | 3 | 0 | 2 | 0 | 3 | 6 | 15 | 30 | 75 |
| C | 2 | 3 | 2 | 4 | 2 | 4 | 0 | 2 | 0 | 3 | 6 | 16 | 30 | 80 |

Nota. C = clasificación, O = organización, L = limpieza, E = estandarización, D = disciplina, AA = antes, BB = después

Resultados en relación con el segundo objetivo específico

El segundo objetivo específico fue validar, mediante documentación fidedigna, el registro de los materiales existentes posterior a la aplicación de las mejoras. Este se logró mediante el seguimiento de las existencias físicas registradas en los nuevos formatos y, posterior a ello, con su incorporación en el *software* ARO® que se implementó. Este *software* fue desarrollado por Planatec como una solución para la planificación de recursos empresariales (en inglés Enterprise Resource Planning, ERP), diseñada específicamente para pymes. ARO® gestiona datos relacionados con los diferentes procesos y áreas de la empresa en una sola aplicación, lo que permite catalogar, relacionar y archivar la información de manera automática. Esto le facilita a la empresa la consulta de las estadísticas de diversos indicadores para mejorar la toma de decisiones (Software Selección, 2025).

La Figura 6 muestra el registro del material correspondiente al almacén B, donde se localizan los insumos como tornillos, tuercas, codos, entre otros, que abastecen a plomeros y carpinteros de la empresa.

Figura 6

Base de datos, registro del almacén B en el *software* ARO®

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|------|----------|----------------------|--|--|--|--|--|--|--|----------|------|--|--|
| Material | | E1 | | | | | | | | | | | | |
| U.H. | | ELE02 | | | | | | | | | | | | |
| Material | | Document | | | | General | | | | | | | | |
| | Item | ST | Component | | | Component description | | | | | Quantity | Unit | | |
| | 0010 | L | E1PA90ZH400-0010 | | | TORNILLO YESO P/BROCA | | | | | 5,265 | PZ | | |
| | 0020 | L | E1PA04-88-0020 | | | TORNILLO YESO MULTIUSOS CUERDA FINA | | | | | 6,824 | PZ | | |
| | 0030 | L | E1PA04-88-0030 | | | TORNILLO KLATH PHILLIPS PUNTA BROCA | | | | | 10,158 | PZ | | |
| | 0040 | L | E1PA-1162-0040 | | | TORNILLO HEXAGONAL GRADO 2 GALVANIZADO | | | | | 7,174 | PZ | | |
| | 0051 | L | E1CV-1162-0051 | | | VARILLA ROSCADA GALVANIZADA | | | | | 512 | PZ | | |
| | 0060 | L | E1ME-KEPLY-0060 | | | TUERCA HEXAGONAL G-2 GALV | | | | | 984 | PZ | | |
| | 0070 | L | E1KE30-30-TERIAAL GR | | | RONDANA PLANA GALV | | | | | 1,638 | PZ | | |
| | 0080 | L | E1KE40-CAPTNE0080 | | | EMPAQUE NEOPRENO | | | | | 302 | PZ | | |

Resultados en relación con el tercer objetivo específico

La implementación de eventos *kaizen* permite aumentar el correcto uso y control de los usuarios de los almacenes. Al respecto, se logró determinar que el hecho de contar con formatos que resulten amigables y de fácil seguimiento para el usuario es esencial. Originalmente, la empresa no contaba con el conocimiento de un evento *kaizen* y, por ello, este tercer objetivo se cumplió al implementar un nuevo formato.

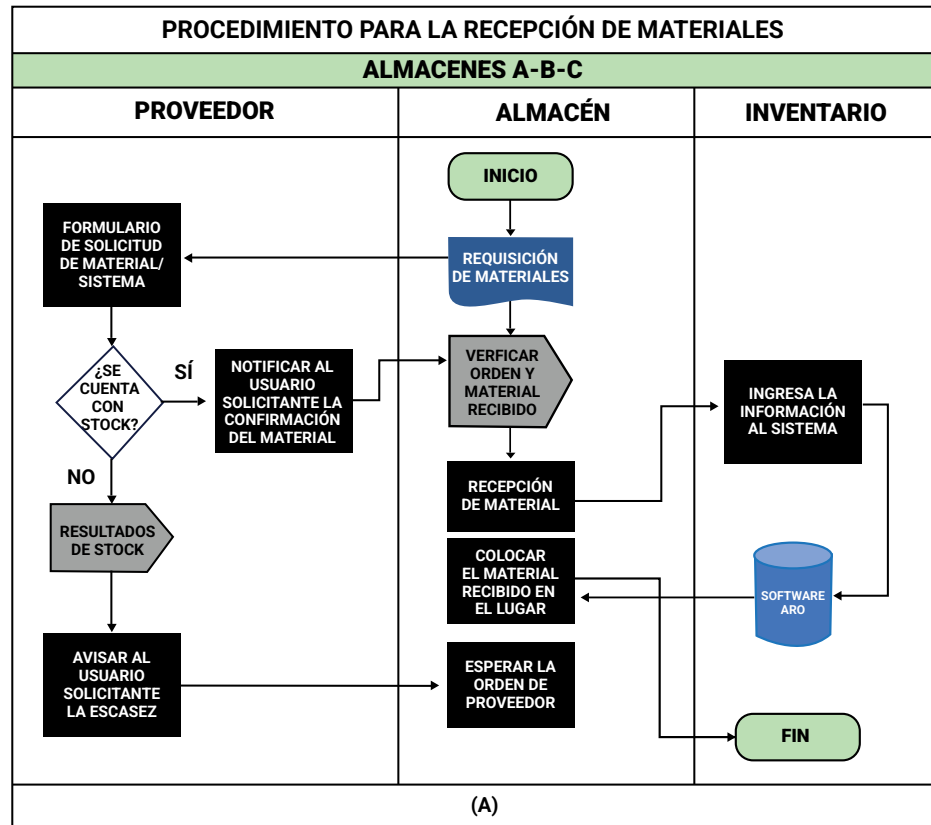
Este formato facilitó el seguimiento de información respecto a si se están llevando a cabo los procesos de la manera correcta o si es necesario ajustar algún paso dentro del proceso de almacenamiento. El formato desarrollado comprendió una plantilla de auditoría interna para los eventos *kaizen* futuros de la empresa y es una adaptación de formatos encontrados en la literatura respecto a temas relacionados con la gestión y control de almacenes de empresas constructoras.

Resultados respecto a mejoras y beneficios después de la aplicación de la metodología

Con la aplicación de la metodología se logró reutilizar los recursos y reducir el desperdicio en 75 %, lo que elevó en tres meses el ahorro en costos por materiales mal aprovechados en 24 148,50 pesos mexicanos, de los cuales 16 550,50 pesos mexicanos fueron por venta y reciclaje de materiales sobrantes de las obras, y el resto por venta de materiales obtenidos de la limpieza de los almacenes. Además, con la herramienta *kanban* se formalizó y estructuró el procedimiento para la recepción de materiales en los almacenes, con lo que anteriormente la empresa no contaba. La Figura 7 muestra el flujograma de actividades para la recepción de los materiales en cada almacén, así como el diagrama de flujo para el despacho de estos. Los formatos de estos diagramas se encuentran registrados y archivados por la empresa.

Figura 7

A) Diagrama de flujo para la recepción de materiales, B) Diagrama de flujo para el despacho de materiales



A continuación, se explica el resultado del funcionamiento de los diagramas de flujo anteriores.

a) Procedimiento de recepción de materiales en los almacenes:

1. Requisición de materiales: El encargado del almacén llena la solicitud de orden de compra para el abastecimiento de materiales e insumos faltantes. La requisición pasa directo al encargado de compras.
2. Resultados de existencias: El auxiliar de almacén conoce la situación actual del material solicitado en la hoja de pedido a través del *software* ARO®. Si la información sobre las existencias de materiales está actualizada, el auxiliar de almacén procede a imprimir el formato de pedimento aceptado.

3. Verificación de orden y material recibido: El auxiliar de almacén verifica que la hoja de pedido tenga la firma del jefe encargado solicitante y la información del proveedor que entrega el pedido en el almacén.
4. Recepción de material: El encargado del almacén asigna la mercancía recibida en el lugar correspondiente.
5. Ingresar la información al sistema: Una vez recibida y resguardada la mercancía en el lugar correspondiente, el encargado del almacén debe de actualizar las existencias en el *software* ARO®.
6. Fin: El proceso ha terminado y la información se guarda en los archivos y registros correspondientes.

b) Procedimiento de despacho de materiales en los almacenes:

1. Recepción de la solicitud de pedimento de material: El auxiliar del almacén recibe del operario la hoja de pedido en la cual debe figurar la lista de materiales requeridos.
2. Verificación de formato: El auxiliar del almacén verifica que la hoja de pedido tenga la firma del jefe encargado solicitante.
3. Captura de información al sistema: El auxiliar del almacén ingresa los códigos de los materiales solicitados especificados en el formato y realiza la búsqueda en el *software* ARO® para el control de materiales.
4. Resultados de existencias: El auxiliar de almacén conoce la información del material solicitado en la hoja de pedido a través del *software* ARO®. Si la información sobre las existencias de materiales está actualizada, el auxiliar de almacén procede a imprimir el formato de pedimento aceptado.
5. Confirmación al solicitante: si se cuenta con las existencias de material solicitado, el auxiliar del almacén confirma al operario que se le entregará dicho material.
6. Entrega de material al usuario solicitante: El receptor debe firmar el formato de despacho del material y verificar que sus cantidades y condiciones sean las correctas.
7. Fin: El proceso ha terminado y la información se guarda en los archivos y registros correspondientes.

DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio convergen con otros encontrados en la literatura. Por ejemplo, Pineda-Pomachagua y Núñez-Romero (2024) aplicaron *kanban* y 5S para mejorar el flujo

de materiales y la utilización del espacio en un almacén de la industria de la construcción. Como resultado, los niveles de inventario se redujeron en 58 %; el tiempo de manipulación de materiales, en 22 %; y los costes operativos, en 20 %, con un ahorro anual de 265 055 dólares. En otra investigación, Voronova (2022) aplicó los principios de manufactura esbelta en un almacén de Coca Cola en Rusia, donde mejoró las actividades del complejo de producción y almacenamiento, así como la eficiencia en el uso de almacenes y los procesos de búsqueda e inventario. Finalmente, Pachauri-Carbajal et al. (2023) aplicaron *kaizen* y 5S en una empresa de comercialización de cocinas para mejorar los procesos de recogida y embalaje, y así aumentar el nivel de servicio. Como resultado, la tasa de escasez de material se redujo en 19 %, la eficiencia se incrementó en 15,59 % y el nivel de servicio aumentó al 94 %. Lo anterior confirma que las herramientas de manufactura esbelta (por ejemplo, 5S, *kaizen*, *kanban*, trabajo estandarizado) ayudan a que los almacenes operen de forma más eficiente (Islam & Ahmed, 2024), como en el caso del presente proyecto.

Los resultados del presente proyecto quedan validados al ser similares a los obtenidos en estudios anteriores, como los citados en la introducción y en la discusión. Con esto, el presente proyecto contribuye al conocimiento al demostrar que la aplicación conjunta de las herramientas 5S, *kaizen* y *kanban* mejora la gestión de almacenes al reducir los problemas relacionados con el manejo de existencias.

CONCLUSIONES

Tanto el objetivo general como los objetivos específicos se cumplieron. Se logró reducir los problemas que afectan el control y la gestión de los almacenes de la empresa mediante la implementación de las herramientas *lean manufacturing*, como las 5S. Inicialmente, el promedio era de 84,52 problemas por mes, y se redujeron a un promedio de 26,3 problemas por mes. Los objetivos específicos se cumplieron al reducir el promedio mensual de los problemas que afectaban al control de los almacenes en 68,88 % (de 84,52 a 26,3), se validaron las existencias físicas de la materia prima de los almacenes, resguardando la información en una nueva base de datos, y se estableció el uso de formatos de eventos *kaizen* para la mejora continua de la empresa.

Además, se concluye que las herramientas *kaizen*, 5S y *kanban* se complementan entre sí. Para comenzar con la metodología *kaizen*, primero se debe tener una base de 5S. Siguiendo la secuencia de aplicación de estas herramientas, se pueden ubicar la materia prima y los insumos fácilmente, lo que facilita un manejo de inventarios rápido y eficiente. Para facilitar el uso de inventarios y conocimiento de la materia prima y los insumos que se mueven dentro de la empresa, se utilizan los sistemas *kanban*, con los cuales se codifican los productos y se estandarizan todos los procesos y actividades. Una vez completado, se aplica *kaizen*, el cual permite analizar los problemas detectados en el proceso y la causa raíz de estos. Finalmente, se procede a aplicar una estrategia

para obtener los beneficios de mejora continua mediante la proyección de los resultados de capacitaciones con el personal usuario de los almacenes, el cual permite mejorar o encontrar soluciones antes que se soliciten.

Finalmente, se recomienda mantener las prácticas actuales de las herramientas implementadas, proyectándolas a otras áreas para mejorar el sistema de abastecimiento. Se debe continuar con las capacitaciones al personal, con entrenamiento de técnicas y herramientas nuevas y se recomienda seguir con el monitoreo y evaluación constante de las actividades de mejora implementadas y actualizar los diagramas de acuerdo con los cambios en el procedimiento. Además, se recomienda aplicar las herramientas de gestión propuestas (*kaizen*, 5S y *kanban*) y administrar cada mes un cuestionario tipo *checklist* inmediatamente después de haber completado el proceso de las 5S para mejorar los nuevos procesos dentro del área de almacén.

Como trabajos futuros en el campo se la industria, se recomienda mantener una filosofía de mejora continua en la cual los empleados se capaciten para adquirir nuevos conocimientos, y aplicar herramientas de manufactura esbelta para reducir los demás tipos de problemas en los almacenes. También se recomienda realizar seguimientos periódicos al estado de los almacenes, para así detectar nuevas oportunidades de mejora y aplicar la presente metodología en otras empresas de diferentes tamaños y giros.

En la investigación, se recomienda realizar una revisión de la literatura sobre el impacto de 5S, *kaizen* y *kanban* en almacenes, así como pruebas de hipótesis sobre el impacto de estas herramientas en diferentes variables de la gestión de almacenes.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

Arturo Realvásquez-Vargas: escritura: borrador original, redacción: revisión y edición, conceptualización, *data curation*, metodología, investigación. **Guadalupe Hernández-Escobedo:** supervisión, conceptualización, visualización. **Brenda Michelle Castillo-Ramírez:** redacción: revisión y edición, supervisión, conceptualización, visualización. **Jorge Luis García-Alcaraz:** redacción: revisión y edición, supervisión, *software*. **José Roberto Díaz-Reza:** supervisión, *software*.

REFERENCIAS

- Al Robaai, M. S. D., Rahima, M. A., & Alghazali, M. H. (2023). Application the kanban cards and the value stream map (Vsm) to rationalize inventory costs and to improve the company's performance and oversight applied research in electrical cables factory / Ur State Company for electrical industries. *International Journal of Professional Business Review*, 8(4), e01371. <https://doi.org/10.26668/businessreview/2023.v8i4.1371>
- Azizi, M. R., Atlasi, R., Ziapour, A., Abbas, J., & Naemi, R. (2021). Innovative human resource management strategies during the COVID-19 pandemic: A systematic narrative review approach. *Heliyon*, 7(6), e07233. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07233>
- Cavi, R., Giovanni, P., Alice, S., Laura, P., Francesca, M., Patrizia, G., & Laura, B. (2024). 2SPD-015 Integrated healthcare logistics: kanban solution for management of dialysis warehouses pilot case. *European Journal of Hospital Pharmacy*, 31(1), A25-A26. <https://doi.org/10.1136/EJHPHARM-2024-EAHP.52>
- Chinta, S. (2021). The impact of AI-powered automation on agile project management: transforming traditional practices. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 8(10), 2025-2036. <https://doi.org/10.2139/SSRN.5034076>
- Cervantes-Zubirías, G., Morales-Rodríguez, M. A., Alva-Rocha, L., Hernández-Rodríguez, P., & Reyna-Guerrero, I. (2022). Reducción de desperdicios a través de la implementación de herramientas de manufactura esbelta (mejora continua). *593 Digital Publisher CEIT*, 7(3-2), 247-264. <https://doi.org/10.33386/593dp.2022.3-2.1138>
- Dahule, P. (2023). The strategic impact of project management and kanban in enhancing data analysis efficiency. *The Eastasouth Journal of Information System and Computer Science*, 1(2), 118-125. <https://doi.org/10.58812/ESISCS.V1I02.494>
- Damij, N., & Damij, T. (2024). An approach to optimizing kanban board workflow and shortening the project management plan. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 71, 13266-13273. <https://doi.org/10.1109/TEM.2021.3120984>
- Echeverria-Garcia, L. M., Espinoza-Alarcon, J. C., & Quiroz-Flores, J. C. (2022, 21-22 de diciembre). *Warehouse management model based on lean manufacturing to reduce the incidence of ceramic tiles breakage in the retail sector* [Presentación de escrito]. Proceedings of the First Australian International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Sidney, Australia. <https://doi.org/10.46254/AU01.20220271>

- Espinoza-Sánchez, N. Y., Sanchez-Santos, P. Y., Marcelo-Lastra, G. E., Quiroz-Flores, J. C., & Alvarez-Merino, J. C. (2021). Implementation of lean and logistics principles to reduce non-conformities of a warehouse in the metalworking industry. En *2021 10th International Conference on Industrial Technology and Management (ICITM)* (pp. 89-93). Institute of Electrical and Electronic Engineers. <https://doi.org/10.1109/ICITM52822.2021.00024>
- García-Alcaraz, J. L., Díaz Reza, J. R., Sánchez Ramírez, C., Limón Romero, J., Jiménez Macías, E., Javierre Lardies, C., & Rodríguez Medina, M. A. (2021). Lean manufacturing tools applied to material flow and their impact on economic sustainability. *Sustainability*, 13(19), Artículo 10599. <https://doi.org/10.3390/SU131910599>
- Gatundu, J. W. (2024, 11 de abril). *Improvement of warehousing processes by applying lean tools: theoretical foundations* [Presentación de escrito]. Conference Proceedings "Young Scientist 2024", Kaunas, Lituania. <https://ejournals.vdu.lt/index.php/jm2022/article/view/5728>
- Gupta, K. (2022). A review on implementation of 5S for workplace management. *Journal of Applied Research on Industrial Engineering*, 9(3), 323-330. <https://doi.org/10.22105/JARIE.2021.292741.1347>
- Gupta, S., & Jain, S. K. (2014). The 5S and kaizen concept for overall improvement of the organisation: a case study. *International Journal of Lean Enterprise Research*, 1(1), 22-40. <https://doi.org/10.1504/ijler.2014.062280>
- Hamdulay, N. A. (2023). Framework study for software development via scrum, agile and kanban. *The Online Journal of Distance Education and e-Learning*, 11(2), 1388-1399. <https://www.tojdel.net/journals/tojdel/articles/v11i02/v11i02-51.pdf>
- Hernández Centeno, F., & Sifuentes Huayanay, W. (2022). Lean manufacturing: literature review and implementation analysis. *Journal of Scientific and Technological Research Industrial*, 3(2), 36-46. <https://doi.org/10.47422/JSTRI.V3I2.29>
- Huangfu, G., Li, L., Zhang, Z., & Sheng, C. (2021). Moral metaphorical effect of cleanliness on immoral workplace behaviors: Environmental cleanliness or self-cleanliness? *Journal of Pacific Rim Psychology*, 15. <https://doi.org/10.1177/18344909211034257>
- Islam, M. S., & Ahmed, S. (2024). Work standardization in lean manufacturing for improvement of production line performance in SME. *Malaysian Journal on Composites Science and Manufacturing*, 13(1), 68-81. <https://doi.org/10.37934/MJCSM.13.1.6881>
- Jarašūnienė, A., Čižiūnienė, K., & Čereška, A. (2023). Research on impact of IoT on warehouse management. *Sensors*, 23(4), Artículo 2213. <https://doi.org/10.3390/S23042213>

- Jizdan, A., Popovici, A., & Graur, A. (2024, 5-6 de abril). *Kanban method - management tool for trade entities* [Presentación de escrito]. International Scientific Conference on Accounting ISCA 2024, Chisináu, Moldavia. <https://doi.org/10.53486/ISCA2024.26>
- Kar, S., & Jha, K. N. (2020). Examining the effect of material management issues on the schedule and cost performance of construction projects based on a structural equation model: survey of Indian experiences. *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(9), Artículo 05020011. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001906](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001906)
- Maki, P. L. (2023). *Assesing for learning. Building a sustainable commitment across the institution* (2.ª ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003443056>
- Mathiyazhagan, K., Gnanavelbabu, A., Kumar, N., & Agarwal, V. (2022). A framework for implementing sustainable lean manufacturing in the electrical and electronics component manufacturing industry: An emerging economies country perspective. *Journal of Cleaner Production*, 334, Artículo 130169. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.130169>
- Mazur, M., Korenko, M., Žitňák, M., Shchur, T., Kielbasa, P., Dostál, P., Dzhidzhora, O., Idzikowski, A. (2024). Implementation and benefits of the 5S method in improving workplace organisation - A case study. *Management Systems in Production Engineering*, 32(4), 498-507. <https://doi.org/10.2478/mspe-2024-0047>
- Okpala, C., Nwamekwe, C. O., & Ezeanyim, O. C. (2024). The implementation of kaizen principles in manufacturing processes: A pathway to continuous improvement. *International Journal of Engineering Inventions*, 13(7), 116-124. <https://hal.science/hal-04669397v1>
- Pachauri-Carbajal, A., Escobar-Espinoza, V., & Quiroz-Flores, J. (2023, 17-21 de julio). *Increasing the service level index through implementing lean warehousing tools in a trading household equipment company* [Presentación de escrito]. 21st LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology, Buenos Aires, Argentina. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2023.1.1.169>
- Pineda-Pomachagua, B. A., & Núñez-Romero, R. J. (2024). Significant efficiency gains in construction SMEs through lean procurement practices: A case study on integrating kanban, systematic layout planning, and 5S. En *Proceedings of the 2nd GCC International Conference on Industrial Engineering and Operations Management* (pp. 93-107). IEOM Society International. <https://doi.org/10.46254/GC02.20240030>
- Rizky, Y. A., Khuzaini, K., & Shadiq, S. (2023). Decluttering for enhanced workplace performance: The 5S solution. *Jurnal Inovasi Ekonomi*, 8(2), 71-84. <https://doi.org/10.22219/jiko.v8i02.26916>

- Rizkya, I., Sari, R. M., Syahputri, K., & Fadhilah, N. (2021). Implementation of 5S methodology in warehouse: A case study. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1122, Artículo 012063. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1122/1/012063>
- Sadiq, S., Amjad, M. S., Rafique, M. Z., Hussain, S., Yasmeen, U., & Khan, M. A. (2021). An integrated framework for lean manufacturing in relation with blue ocean manufacturing - A case study. *Journal of Cleaner Production*, 279, Artículo 123790. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.123790>
- Saxena, M. M. (2022). *Implementation of kaizen in industries and its challenges* [Presentación de escrito]. Recent Advances in Mechanical Infrastructure, Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-7660-4_15
- Senapathi, M., & Drury-Grogan, M. L. (2020). Systems thinking approach to implementing kanban: A case study. *Journal of Software: Evolution and Process*, 33(4), e2322. <https://doi.org/10.1002/SMR.2322>
- Sharma, A. K. (2022). A study on the background and the direction of the kaizen approach in lean manufacturing. *EPRA International Journal of Multidisciplinary Research*, 8(11), 241-245. <https://doi.org/10.36713/EPRA11868>
- Shiyanbola, J. O., Olatunde Omisola, J., & Osho, G. O. (2023). An agile workflow management framework for industrial operations: Migrating from email-based systems to visual JIRA-kanban platforms. *Journal of Frontiers in Multidisciplinary Research*, 4(1), 72-81. <https://doi.org/10.54660/IJFMR.2023.4.1.72-81>
- Software Selección. (2025). ARO. <https://www.softwareseleccion.com/aro-p-3669>
- Sunny, N. M., Sakil, M. B. H., Nahian, A. A., & Atayeva, J. (2024). Project management and visualization techniques a details study. *International Refereed Journal of Engineering and Science*, 13(5), 28-44. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28504.71685>
- Syaputra, M. J., & Aisyah, S. (2022). Kaizen method implementation in industries: Literature review and research issues. *Indonesian Journal of Industrial Engineering and Management*, 3(2), 116-130. <https://doi.org/10.22441/IJIE.M.V3I2.15408>
- Tripathi, V., Chattopadhyaya, S., Mukhopadhyay, A. K., Sharma, S., Singh, J., Pimenov, D. Y., & Giasin, K. (2021). An innovative agile model of smart lean-green approach for sustainability enhancement in industry 4.0. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 7(4), Artículo 215. <https://doi.org/10.3390/JOITMC7040215>
- Voronova, O. (2022). Improvement of warehouse logistics based on the introduction of lean manufacturing principles. *Transportation Research Procedia*, 63, 919-928. <https://doi.org/10.1016/J.TRPRO.2022.06.090>

- Vukićević, A., Mladineo, M., Banduka, N., & Mačuzić, I. (2021). A smart Warehouse 4.0 approach for the pallet management using machine vision and Internet of Things (IoT): A real industrial case study. *Advances in Production Engineering & Management*, 16(3), 297-306. <https://doi.org/10.14743/apem2021.3.401>
- Wani, S., & Shinde, D. K. (2021). Study and implementation of '5S' methodology in the furniture industry warehouse for productivity improvement. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 10(8), 184-191. <https://www.ijert.org/study-and-implementation-of-5s-methodology-in-the-furniture-industry-warehouse-for-productivity-improvement>
- Weflen, E., MacKenzie, C. A., & Rivero, I. V. (2022). An influence diagram approach to automating lead time estimation in agile kanban project management. *Expert Systems with Applications*, 187, Artículo 115866. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2021.115866>
- Zarza-Díaz, R., Martínez-Martínez, T. I., & Cruz-Santiago, L. (2023). 5's en una empresa textil como base de la manufactura esbelta. *Ingenio y Conciencia*, 10(19), 29-36. <https://doi.org/10.29057/ESCS.V10I19.9605>

INTERRELATIONSHIPS BETWEEN TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE, *JIDOKA* AND ECONOMIC SUSTAINABILITY: EMPIRICAL VALIDATION OF AN INTEGRATED CONCEPTUAL MODEL

JORGE LUIS GARCÍA ALCARAZ

<https://orcid.org/0000-0002-7092-6963>

Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez,
México

JORGE LIMÓN ROMERO

<https://orcid.org/0000-0003-2117-4803>

Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño, Universidad Autónoma de Baja California,
México

JUAN CARLOS QUIROZ-FLORES

<https://orcid.org/0000-0003-1858-4123>

Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad de Lima, Perú

YOLANDA BÁEZ LÓPEZ

<https://orcid.org/0000-0001-8418-254X>

Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño, Universidad Autónoma de Baja California,
México

ARTURO REALYVÁSQUEZ VARGAS

<https://orcid.org/0000-0003-2825-2595>

Departamento de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México/IT Tijuana,
México

Received: June 28, 2025 / Accepted: August 11, 2025

Published: December 19, 2025

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2025.n049.8063>

This research received no external funding.

* Corresponding author e-mails: jorge.garcia@uacj.mx, jorge.limon@uabc.edu.mx, yolanda@uabc.edu.mx, jquiroz@ulima.edu.pe

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

ABSTRACT. This study develops and empirically validates an integrated conceptual model that investigates the causal relationships among Total Productive Maintenance (TPM), *Jidoka*, and economic sustainability (ECSU) within the manufacturing industry. Based on Resource and Capability Theory as well as Systems Theory, the model posits that TPM directly influences both *jidoka* and ECSU, while *jidoka* acts as a mediator in the relationship between TPM and ECSU. Utilizing structural equation modeling (SEM-PLS) and data collected from 357 surveys of the maquiladora industry in Ciudad Juárez, Mexico, the analysis confirms that TPM positively affects *jidoka* ($\beta=0,632, p<0,001$) and ECSU ($\beta=0,340, p<0,001$). Furthermore, *jidoka* contributes significantly to ECSU ($\beta=0,358, p<0,001$) and mediates the effect of TPM on ECSU ($\beta=0,226$), resulting in an increased total effect of $\beta=0,566$. The researchers conducted graphical analyses that demonstrate nonlinear patterns in relationships. These findings underscore the synergies between TPM and *jidoka*, which work together to maximize sustainable economic benefits in lean manufacturing environments.

KEYWORDS: TPM / *jidoka* / manufacturing industries / manufacturing processes / lean manufacturing / sustainable development / structural equation modeling

INTERRELACIONES ENTRE EL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL, *JIDOKA* Y LA SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA: VALIDACIÓN EMPÍRICA DE UN MODELO CONCEPTUAL INTEGRADO

RESUMEN. Este estudio desarrolla y valida empíricamente un modelo conceptual integrado que examina las relaciones causales entre el mantenimiento productivo total (TPM), *jidoka* y la sostenibilidad económica (ECSU) en la industria manufacturera. Basado en la teoría de recursos y capacidades y la teoría de sistemas, el modelo propone que TPM influye directamente en *jidoka* y ECSU, mientras que *jidoka* media la relación TPM-ECSU. Utilizando modelado de ecuaciones estructurales (SEM-PLS) y datos de 357 encuestas en la industria maquiladora de Ciudad Juárez, México, se confirmó que TPM impacta positivamente a *jidoka* ($\beta=0,632, p<0,001$) y ECSU ($\beta=0,340, p<0,001$), mientras que *jidoka* también contribuye a ECSU ($\beta=0,358, p<0,001$). Además, *jidoka* media el efecto de TPM en ECSU ($\beta=0,226$), aumentando el efecto total a $\beta=0,566$. Los análisis gráficos revelaron patrones no lineales en las relaciones. Estos hallazgos destacan las sinergias entre TPM y *jidoka* para maximizar beneficios económicos sostenibles en entornos de manufactura esbelta.

PALABRAS CLAVE: TPM / *jidoka* / industria manufacturera / procesos industriales / producción eficiente / desarrollo sostenible / modelos de ecuaciones estructurales

INTRODUCTION

In the contemporary industrial landscape, businesses must actively optimize operational efficiency and enhance their competitiveness to address the escalating pressures of global economics and environmental challenges. Total Productive Maintenance (TPM), first conceptualized by Nakajima (1989), represents a strategy that integrates physical asset management to systematically eliminate the six primary operational losses associated with machines: equipment breakdowns, setup and adjustment times, minor stoppages, speed reductions, quality defects, and start-up losses (Ahuja & Khamba, 2008). TPM transcends conventional approaches of corrective and preventive maintenance by adopting a holistic philosophy that actively engages all organizational levels in maximizing Overall Equipment Efficiency (OEE).

Empirical evidence demonstrates that companies successfully implementing TPM significantly enhance various dimensions of organizational performance, including reduced operational costs, increased productivity, and improved product quality (Pramod et al., 2010). However, the complexity of implementing TPM necessitates a comprehensive understanding of the interrelationships among its fundamental pillars and its integration with other continuous improvement philosophies, such as lean manufacturing (LM), concurrently applied on production lines.

Lean manufacturing (LM) is a management methodology designed to maximize customer value by systematically eliminating waste in production processes. It encompasses various tools, including Total Productive Maintenance (TPM), which originated in the Toyota Production System. This philosophy prioritizes the optimization of resource utilization, the reduction of lead times, and the enhancement of quality in response to market demands. By focusing on waste elimination, the TPM approach aligns closely with LM principles. Consequently, TPM has emerged as one of the most prevalent tools in production lines within the LM framework (Valverde-Curi et al., 2019).

The integration of LM and waste elimination has fostered a natural convergence between TPM and the concept of *jidoka*, which embodies automation with a human touch and serves as a fundamental pillar of the Toyota Production System (Shingo & Dillon, 1989). *Jidoka* represents the capacity of production systems to automatically detect anomalies and halt the process until the system identifies and corrects the root cause. This approach effectively prevents the propagation of defects and minimizes the generation of waste (Cantini et al., 2024). It is important to recognize that these defects often result from inadequate machine maintenance (Pascal et al., 2019).

The conceptual synergy between TPM and *jidoka* stems from their mutual emphasis on operational autonomy and proactive problem detection. TPM aims to maximize equipment availability and reliability, while *jidoka* enhances this perspective by ensuring that

production systems operate only under optimal quality conditions (Womack et al., 2017). This theoretical convergence indicates the presence of significant causal relationships that require rigorous empirical validation.

The implementation of TPM and *jidoka* in industry aims to convert waste into savings and financial benefits. Consequently, in the contemporary business landscape, economic sustainability (ECSU) emerged as a central factor shaping strategic decision-making. This shift moves beyond the traditional focus on short-term profit maximization towards a sustainable approach to value creation (Chaabane et al., 2021). Within the industrial context, ECSU is understood as an organization's capacity to sustain competitive financial performance while optimizing resources and minimizing negative environmental and social impacts.

Existing research demonstrates that effectively implementing TPM generates sustainable economic advantages through various mechanisms, such as reducing maintenance costs, optimizing asset life cycles, minimizing waste, and enhancing energy efficiency (Chaabane et al., 2021). Similarly, the application of *jidoka* principles significantly improves ECSU by mitigating non-quality costs, minimizing rework, and optimizing productive resources.

Despite a rich body of literature on TPM and *jidoka* as separate methodologies in industrial applications, researchers have overlooked the integrated modeling of their interrelationships and the combined impact on ECSU. Previous studies have primarily concentrated on identifying critical success factors for the individual implementation of each methodology (Gelaw et al., 2024) and examining their isolated effects on specific performance indicators.

The existing literature lacks integrative conceptual models that simultaneously examine the causal relationships among TPM, *jidoka*, and ECSU from a systemic perspective. This gap is particularly critical, as Resource-Based View (RBV) theory asserts that sustainable competitive advantages emerge from the synergistic integration of complementary organizational resources and capabilities (Arief et al., 2023). This study develops and empirically validates an integrated conceptual model aimed at exploring the causal relationships among TPM, *jidoka*, and ECSU within the industrial sector.

This study advances theoretical understanding by empirically validating an integrated conceptual model and presents significant scientific and social implications. Scientifically, the research demonstrates how the synergy between TPM and *jidoka* functions as complementary organizational capabilities that enhance ECSU. This finding addresses a notable gap in the literature concerning the quantification of their interaction.

On a social level, these findings are particularly relevant to the manufacturing and maquiladora industries, which play a crucial role in regions such as Ciudad Juárez. The

research offers a practical framework that maximizes sustainable economic benefits, improves job stability, and strengthens regional competitiveness. By effectively integrating TPM and *jidoka*, organizations can optimize resources, reduce costs, and cultivate a culture of continuous improvement and personnel empowerment. These factors notably enhance worker well-being and corporate social responsibility.

This paper is structured into six main sections: introduction, methodology, results, discussion of results and conclusions that include managerial implications, limitations, and future research. The methodology section details the research design, operationalization of latent variables, and the procedures for data collection. The results present a descriptive statistical analysis alongside the validation and evaluation of the measurement model. In the conclusions, the paper synthesizes the findings, outlines the limitations, and suggests avenues for future research.

This model identifies three interconnected latent variables through three hypotheses, supported by the Resources and Capabilities Theory (RBV) and the Systems Theory (ST). The RBV plays a crucial role in clarifying how TPM and *jidoka* foster sustainable competitive advantages that lead to ECSU. Specifically, the RBV defines TPM and *jidoka* as organizational capabilities or strategic intangible assets, which empower firms to develop distinctive competencies that directly influence their economic performance (Samadhiya et al., 2023).

ST is helpful in explaining the causal structure and interrelationships among the variables under investigation. Specifically, ST makes it clear that TPM needs to influence *jidoka*, thereby enabling both to effectively impact on ECSU. Absent a systemic perspective, the model lacks conceptual coherence; we must understand the sequential causal relationships and synergistic effects among TPM, *jidoka*, and ECSU from a holistic viewpoint (Zhou et al., 2022). Within this framework, each component is influenced by other concepts in the system is, thereby generating positive feedback loops.

The interrelationship between TPM and *jidoka* is clarified through the Resource-Based View (RVB) framework. The implementation of TPM allows for the optimization of both physical and human resources, which in turn enables real-time detection and rectification of errors. From a systems theory perspective, TPM serves as a critical subsystem that enhances the reliability and stability of the production system. This improvement establishes essential conditions for *jidoka* to bolster quality and improve responses to failures.

The interrelationship between TPM and *jidoka* relies on the operational interdependence of these methodologies within the lean manufacturing framework. TPM plays a crucial role in ensuring the availability and reliability of operations, equipment, and systems, which establishes the technological stability necessary for the effective functioning of

the automatic detection mechanisms integral to *jidoka*. By prioritizing the maximization of equipment efficiency, TPM facilitates the successful integration of *jidoka* principles. According to Quiroz-Flores and Vega-Alvites (2022), lean manufacturing methodologies like TPM effectively reduce production costs and enhance overall productivity, thereby increasing the flexibility required to implement timely quality controls that are fundamental to *jidoka*. Additionally, TPM strategies promote proactive engagement among operators, strengthening their ability to identify, diagnose, and address anomalies within the production process, a critical aspect of the *jidoka* approach.

TPM and *jidoka* actively seek to minimize the downtime caused by equipment malfunctions and defects. Hallioui et al. (2023) demonstrate that implementing TPM improves overall equipment effectiveness (OEE), aligning with the goal of producing high-quality results while minimizing waste. Oroye et al. (2022) assert that maintaining machinery in optimal conditions minimizes operational disruptions, allowing workers to focus on quality control, and enabling the early detection of process defects. Additionally, Rada et al. (2024) reveal that industries experience improvements in operational performance following the adoption of Total Productive Maintenance (TPM). This implementation not only fosters the integration of *jidoka*, but also boosts productivity, and helps achieve sustainability objectives. Consequently, these insights highlight the importance of a robust TPM framework as a foundational element for the successful implementation of *jidoka*. Based on this analysis, we propose the following hypothesis:

H₁. The implementation of TPM has a direct and positive effect on *jidoka*.

The relationship between TPM and ECSU hinges on TPM's ability to maximize asset utilization, reduce costs, and enhance productivity. This dynamic ultimately strengthens the economic income of the organization, in line with RSV theory. Furthermore, from an ST perspective, TPM enhances the overall operation of the production system, thereby ensuring its long-term viability and economic competitiveness.

Organizations implement TPM with the expectation of achieving economic benefits through improved equipment efficiency and waste reduction, which translates into significant savings. To achieve these objectives, TPM actively trains employees to take responsibility for equipment maintenance. This emphasis on training enhances operational reliability, minimizes production losses, streamlines operations, and improves overall equipment effectiveness (OEE). This allows organizations to maximize productivity, reduce costs (Mendes et al., 2023), and increase profitability for manufacturers (Zhang & Chin, 2021).

TPM effectively aligns with lean manufacturing principles to eliminate non-value-added activities, fostering continuous optimization and economic performance (Bekar, 2023). Companies that implement TPM actively reduce waste and improve their resource

efficiency, which is essential for gaining a competitive advantage and ensuring compliance with Environmental, Social, and Corporate Governance (ESG) criteria (Danguche & Taifa, 2023). The current integration of TPM with the Internet of Things (IoT) and Industry 4.0 enables real-time monitoring and analysis of defects, which extends equipment lifespan and allows for more effective maintenance scheduling, ultimately resulting in cost savings by preventing unforeseen failures (Samadhiya et al., 2023). Based on this information, we can propose the following hypothesis:

H₂. The implementation of TPM has a direct and positive effect on ECSU.

The association between *jidoka* and ECSU becomes clear as *jidoka* actively enhances quality and minimizes waste, which improves competitiveness and directly contributes to the organization's ECSU from the perspective of RSV. Additionally, *jidoka* strengthens the adaptability and efficiency of the production system from the standpoint of ST, enabling an agile response to anomalies and ensuring the system's economic sustainability.

Jidoka emphasizes the importance of training both machines and operators to swiftly identify defects during the production process. This proactive approach not only prevents quality issues but also reduces costs linked to waste, rework, and inefficiencies. This suggests that implementing *jidoka* promotes ECSU. Additionally, *jidoka*'s economic benefits extend to heightened employee engagement and empowerment, as it allows employees to halt production in the event of problems. This practice cultivates a culture of continuous improvement and accountability. Such empowerment enhances job satisfaction and retention, ultimately boosting labor productivity (Tamás et al., 2020).

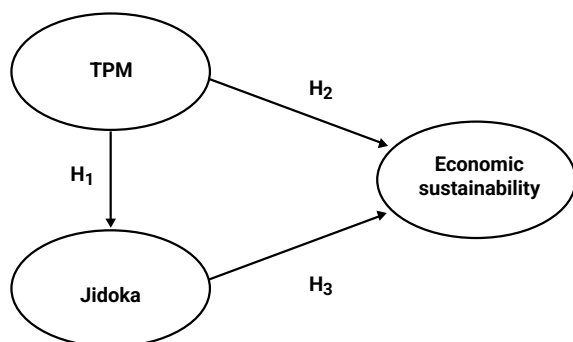
When industries adopt *jidoka* they position themselves more effectively to navigate the transition to Industry 4.0 by integrating advanced technologies and automation tools. This transition fosters the development of resilient production systems that can adapt to fluctuating economic conditions and demands (Koteswarapavan & Pattanaik, 2024). By enhancing flexibility and responsiveness to market changes, *jidoka* becomes a strategic asset for firms aiming to sustain long-term economic growth amidst environmental uncertainties (Cantini et al., 2024). This analysis leads us to propose the following hypothesis:

H₃. The implementation of *jidoka* has a direct and positive effect on ECSU.

A graphical representation of the proposed hypotheses is presented in Figure 1.

Figure 1

Relationships between variables and hypotheses



METHODOLOGY

The relationships among the latent variables--TPM, *jidoka*, and ECSU-- are- illustrated in Figure 1 as a structural equation model (SEM), a methodology well-documented in existing research. Balouei Jamkhaneh et al. (2018) employed SEM to evaluate the impact of computerized maintenance on organizational performance, and we adopted their methodology to validate our hypotheses through the following activities.

This study examines three latent variables: TPM, *jidoka*, and ECSU. We conducted a comprehensive literature review to identify prior studies related to these variables and the methods for assessing them. Specifically, we sourced TPM and *jidoka* from Martínez-Loya et al. (2018) and obtained ECSU from Díaz-Reza et al. (2022). To ensure the relevance of these items to the specific geographical context and contemporary events, we undertook a validation process involving three academic experts and five industry managers.

Given its significant economic and social impact, we administered a questionnaire to the manufacturing sector in Ciudad Juárez, Mexico, targeting approximately 309 maquiladora companies. We conducted the survey online using Google Forms, inviting each prospective participant to participate via email. The data collection period ran from February 1 to May 1, 2025, and specifically focused on managers and engineers employed in the maintenance department.

On May 2, 2025, I researchers downloaded a dataset from the Google Forms platform and validated each variable according to the indices proposed by Kock (2023). To assess predictive validity, we employed R^2 and adjusted R^2 , aiming for values that exceed 0,2. For internal validity, we utilized Cronbach's alpha and composite reliability indices, ensuring they are greater than or equal to 0,7. We measured convergent validity using the average variance extracted, which should exceed 0,5. To evaluate multicollinearity among the items,

we applied variance inflation indices, which must remain below 5. Some of these indices are obtained iteratively, as removing specific items within the latent variables enhances their overall quality.

In this study, we employed a structural equation model (SEM) to validate the hypotheses delineated in Figure 1. This approach is particularly appropriate for latent variables, especially when certain variables, such as those associated with *jidoka*, simultaneously serve as both independent and dependent variables (Hair & Alamer, 2022). We selected the partial least squares (PLS) approach because of the ordinal nature of the data and its effectiveness in situations where variables do not adhere to a normal distribution or when the sample size is small (Kock & Hadaya, 2018). All computations in this study were performed with a confidence level of 95%.

Before interpreting the PLS-SEM, we ensured compliance with the quality and efficiency indices outlined by Kock (2023). We assessed the average path coefficient (APC), average R-squared (ARS), and average adjusted R-squared (AARS) to evaluate predictive validity, noting that the p-value was below 0,05. Additionally, we examined the average block VIF (AVIF) and the average full collinearity VIF (AFVIF) to assess collinearity, confirming that these values remained below 5. Lastly, we utilized the Tenenhaus GoF index (GoF) to evaluate the model's data fit, ensuring it exceeded the threshold of 0,36.

In the SEM analysis conducted using WarpPLS v.8 software, we identified three types of effects between variables at a 95 % confidence level, following the procedures outlined by Hair et al. (2017). First, the direct effects validate the hypotheses. Second, the indirect effects arise through a mediating variable, such as *jidoka*. Finally, the total effects encapsulate both direct and indirect effects, providing a comprehensive view of the relationships among the variables.

For each type of effect—direct, indirect, and total—we calculated a standardized β value to quantify the dependence between the latent variables. We assessed the significance of these effects using the p-value, testing the null hypothesis $H_0: \beta=0$ was tested against the alternative hypothesis $H_1: \beta \neq 0$. If the analysis shows that $\beta=0$, we conclude that no relationship exists between the latent variables. Conversely, if we find that $\beta \neq 0$, we conclude that a relationship does exist (Kock, 2023).

For each relationship between latent variables, this study reports the effect size (ES) as a measure of the variance explained by the independent variable, as proposed by (Kock, 2023). Similarly, the study presents the value of R^2 for the dependent variables to quantify the variance explained by the independent variables that impact it. To determine the necessary sample size, the study utilized the minimum value of β from the direct effects, applying the inverse square root and gamma exponential methods (Kock & Hadaya, 2018).

WarpPLS v.8 software enables researchers to compute probabilities for latent variables based on their degree of implementation. In this study, we define a high level of implementation for a variable when the standardized Z value exceeds one, denoted as $P(Z>1)$. Conversely, we identify a low level of implementation when the standardized Z value falls below -1, represented as $P(Z<-1)$, as utilized by Kock (2023). This study presents the following three probabilities proposed by Kock (2023).

1. The probability that a variable manifests at either a high or low level of implementation.
2. The probability that two variables simultaneously manifest with a combination of high and low levels of implementation.
3. The conditional probability that the dependent variable occurs at any level, given that the independent variable has occurred at any other level.

RESULTS

Out of 1,231 mailings distributed, researchers received a total of 368 responses, yielding a response rate of 29,89 %. However, the analysis excluded 11 respondents identified as non-committed responders, leading to a final sample of 357 respondents, which includes 197 males and 160 females. Table 1 presents a comprehensive breakdown of the sectors and positions held by the respondents, highlighting that managers and maintenance engineers comprised the most prevalent roles, with significant representation from the automotive sector.

Table 1
Positions and industry sector

| Position | Sector | | | | | | | | | Total |
|------------|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|
| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | |
| Manager | 29 | 20 | 12 | 6 | 18 | 11 | 13 | 14 | 24 | 147 |
| Engineer | 52 | 2 | 18 | 17 | 7 | 4 | 20 | 12 | 30 | 162 |
| Supervisor | 12 | 1 | 3 | 7 | 2 | 2 | 7 | 4 | 10 | 48 |
| Total | 93 | 23 | 33 | 30 | 27 | 17 | 40 | 30 | 64 | 357 |

A: Automotive, B: Aeronautics, C: Electrical, D: Electronics, E: Logistics, F: Machinery, G: Medical, H: Rubber and Plastics, I: Textiles.

Table 2 presents the median as a measure of central tendency for the items included in the questionnaire, analyzing the grouped data. It also displays the interquartile range (IQR) of the items, which serves as a measure of dispersion. The variables marked with an asterisk (*) were eliminated during the validation process, specifically TPM1, ECS3, and ECS8, to enhance reliability or reduce collinearity (Parsazadeh et al., 2018).

Table 2*Descriptive analysis of the items*

| Item | Median | IQR |
|---|--------|------|
| TPM | | |
| * TPM1. We ensure that machines are always in a high state of readiness for production. | 4,15 | 1,67 |
| TPM2. We conduct regular inspections to keep machines running smoothly | 4,14 | 1,59 |
| TPM3. We have a sound daily maintenance system to prevent machine failures | 3,96 | 1,80 |
| TPM4. We thoroughly clean work areas (including machines and equipment) to prevent unusual events from occurring. | 4,04 | 1,67 |
| TPM5. We have a specific time set aside each day for maintenance activities. | 3,89 | 1,98 |
| TPM6. Operators receive training to keep the machines running. | 3,94 | 1,70 |
| TPM7. We highlight our excellent maintenance system as a strategy for achieving quality compliance. | 4,03 | 1,66 |
| Jidoka | | |
| JID1. Does the machinery alert you when a part does not meet requirements? | 4,07 | 1,73 |
| JID2. Does the machinery stop automatically when it detects an error in the process? | 4,10 | 1,70 |
| JID3. Are small machines used to ensure a fast and uniform flow of materials? | 4,02 | 1,75 |
| JID4. Do operators have the authority to stop the machine in case of problems? | 4,25 | 1,39 |
| JID5. Is visual control used to assess the status of production processes? | 4,27 | 1,44 |
| JID6. When a failure occurs, can each member obtain specific information to move forward within the program schedule? | 4,18 | 1,51 |
| ECSU | | |
| ECS1. Reduction in production costs | 4,30 | 1,40 |
| ECS2. Improvement in profits | 4,26 | 1,40 |
| * ECS3. Reduction in product development costs | 4,26 | 1,45 |
| ECS4. Reduction in energy costs | 4,24 | 1,43 |
| ECS5. Reduction in inventory costs | 4,21 | 1,42 |
| ECS6. Reduction in rejection and rework costs | 4,18 | 1,46 |
| ECS7. Reduction in raw material costs | 4,23 | 1,46 |
| * ECS8. Reduction in waste treatment costs | 4,23 | 1,44 |
| ECS9. Reduction in administrative penalties for environmental incidents | 4,25 | 1,45 |

Table 3 provides the validation indices for the latent variables. The final column includes the desired values, allowing us to conclude that both parametric and non-parametric predictive validity, along with adequate internal validity, and convergent validity that exceeded the minimum threshold. Furthermore, the analysis showed no collinearity issues among the variables. For each variable, the table specifies the number of initial

and final items following validation; for example, TPM initially included seven items, but after the removal of TPM1, only six items were analyzed. Similarly, ECS initially consisted of nine items, but after eliminating ECS3 and ECS8 due to collinearity issues, only seven items were analyzed. Additionally, the Jarque-Bera normality test (normal-JB) confirms the appropriateness of the PLS approach over the covariance-based approach (CB-PLS).

Table 3
Validation of the latent variables

| Index | TPM | | Jidoka | | ECSU | | Best if |
|----------------------------|-------|---|--------|-------|------|-------|------------------|
| | 7 | 6 | 6 | 6 | 9 | 7 | |
| Initial/final items | | | | | | | |
| R ² | | | | 0,399 | | 0,395 | >0,2 |
| Adjusted R ² | | | | 0,396 | | 0,39 | >0,2 |
| Composite reliability | 0,951 | | | 0,927 | | 0,954 | >0,7 |
| Cronbach's alpha | 0,938 | | | 0,905 | | 0,944 | >0,7 |
| Average variance extracted | 0,763 | | | 0,678 | | 0,75 | >0,5 |
| Variance inflation index | 1,777 | | | 1,863 | | 1,603 | <5 |
| Q ² | | | | 0,398 | | 0,394 | ≈ R ² |
| Normal - JB | No | | | No | | No | |

After validating the latent variables, we conducted the SEM analysis to assess its efficiency and quality indices. The results demonstrate that the model can be interpretable, as it meets all the necessary criteria. Figure 2 illustrates the model, and the indices are as follows:

- The average path coefficient (APC)=0,443 (P < 0,001).
- Average R-squared (ARS)=0,397, P<0,001.
- The average adjusted R-squared (AARS) was 0,393 (P < 0,001).
- Average block VIF (AVIF)=1,648, acceptable if ≤ 5.
- Average full collinearity VIF (AFVIF)=1,747, which is acceptable if < 5.
- Tenenhaus GoF (GoF)=0,539 and large ≥ 0,36.

Figure 2
Validation of hypotheses

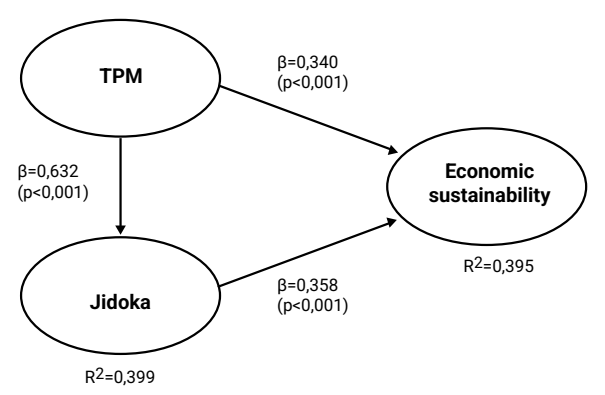


Figure 2 illustrates the direct effects among the latent variables, displaying each standardized β value alongside its corresponding p-value and R^2 value for the dependent variables. The p-values demonstrate that all relationships are statistically significant, achieving a confidence level of up to 99,9 %. Table 4 summarizes the conclusions drawn concerning the proposed hypotheses.

Table 4
Validation of hypotheses

| Hypotheses | β (p-value) | ES | Conclusion |
|-----------------------------|-----------------------|-------|------------|
| H_1 , TPM→ <i>jidoka</i> | 0,632 ($p < 0,001$) | 0,399 | Supported |
| H_2 , TPM→ECSU | 0,340 ($p < 0,001$) | 0,191 | Supported |
| H_3 , <i>jidoka</i> →ECSU | 0,358 ($p < 0,001$) | 0,204 | Supported |

Figures 3,4, and 5 illustrate the graphical relationships among the variables for the TPM→*jidoka* relationship in H_1 , the TPM→ENSU relationship in H_2 , and the *jidoka*→ENSU relationship in H_3 , respectively. These plots effectively demonstrate the variation in β values on a five-point Likert scale.

Figure 3

TPM→jidoka ratio

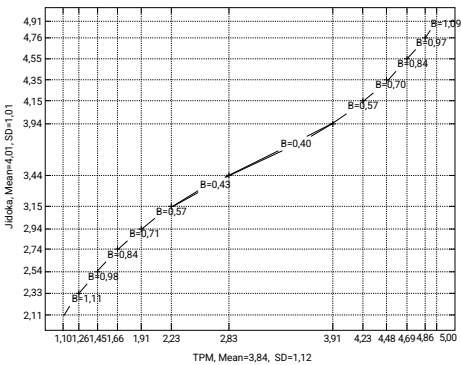


Figure 4

TPM→ECSU ratio

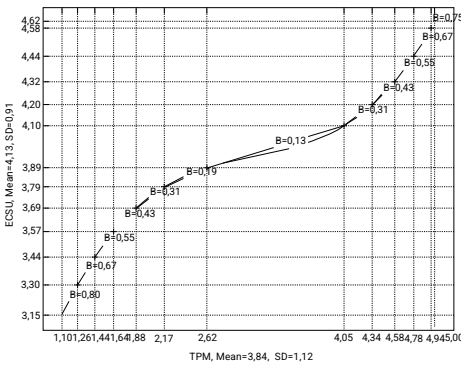
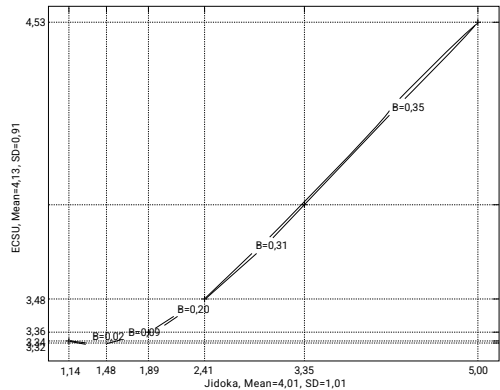


Figure 5

Jidoka-ECSU relationship



In this model, *jidoka* serves as a mediator in the relationship between TPM and ECSU, exhibiting a coefficient of $\beta=0,226$ ($p<0,001$), which indicates statistical significance. This mediation is significant, as the direct effect of TPM and ECSU measures only 0,340, resulting in an increased total effect between these variables to 0,566. Table 5 summarizes the total effects among the variables, incorporating the indirect effect and underscoring the prominence of TPM's influence on both *jidoka* and ECSU, which are characterized by the highest effect values.

Table 5
Total effects

| To | From | |
|---------------|-----------------|-----------------|
| | TPM | <i>Jidoka</i> |
| <i>Jidoka</i> | 0,632 (p<0,001) | |
| | ES=0,399 | |
| ECSU | 0,565 (p<0,001) | 0,358 (p<0,001) |
| | ES=0,319 | ES=0,204 |

Table 6 details the sensitivity analysis performed on both low and high levels of variable implementation, as outlined by the hypotheses in Figure 1. The analysis indicates low levels of a variable with a “-” minus sign, while high levels are indicated by the “+” plus sign. In this framework, joint occurrence probabilities use the ampersand “&”, while conditional probabilities are denoted by “IF” for dependent scenarios. The analysis reveals that the independent probability of TPM+ occurring is 0,212, whereas the probability of TPM- is 0,154. Furthermore, the probability of both *jidoka*+ and TPM+ occurring concurrently is 0,104. When considering the occurrence of *jidoka*+ given that TPM+ has taken place, the probability rises to 0,490. In contrast, the probability of *jidoka*- occurring under the condition of TPM+ is only 0,020. This finding indicated that high levels of TPM implementation do not correlate with low levels of *jidoka*. Similar interpretations apply to other relationships examined within the analysis.

Table 6
Sensitivity analysis

| To | Probability | From | | | |
|-----------------|-------------|----------|----------|-----------------|-----------------|
| | | TPM+ | TPM- | <i>Jidoka</i> + | <i>Jidoka</i> - |
| | | 0,212 | 0,154 | 0,163 | 0,163 |
| <i>Jidoka</i> + | 0,163 | &=0,104 | &=0,008 | | |
| | | IF=0,490 | IF=0,054 | | |
| <i>Jidoka</i> - | 0,163 | &=0,004 | &=0,067 | | |
| | | IF=0,020 | IF=0,432 | | |
| ECSU+ | 0,175 | &=0,092 | &=0,013 | &=0,083 | &=0,008 |
| | | IF=0,431 | IF=0,081 | IF=0,513 | IF=0,051 |
| ECSU- | 0,163 | &=0,000 | &=0,071 | &=0,008 | &=0,083 |
| | | IF=0,000 | IF=0,459 | IF=0,051 | IF=0,513 |

DISCUSSION OF RESULTS

This study's empirical findings, obtained through SEM, demonstrate the interrelationships among TPM, *jidoka*, and ECSU within the manufacturing context. The results show that TPM exerts a direct and positive influence on *jidoka* ($\beta=0,632$, $p<0,001$), accounting for 39,9 % of its variance. This finding aligns with previous literature that highlights the complementarity between these lean methodologies, particularly the work of Cua et al. (2001). Additionally, the nonlinear relationship illustrated in Figure 3 reveals coefficients that range from $\beta=1,11$ at low levels of TPM to $\beta=1,09$ at high levels, indicating a diminishing returns effect as both methodologies develop and mature.

From a theoretical perspective, this relationship is based on the premise that TPM ensures the operational stability and equipment reliability essential for the effective implementation of *jidoka*. The preventive and predictive maintenance integral to TPM fosters optimal technological conditions for efficient automatic anomaly detection systems. The observed positive correlation, albeit with varying intensities, reveals that organizations investing in TPM concurrently enhance their automatic defect-detection capabilities. This synergy cultivates a virtuous cycle of continuous improvement, wherein both methodologies reinforce one another. Consequently, well-maintained equipment is better equipped to detect and respond to anomalies with greater accuracy, thereby facilitating a more effective implementation of the *jidoka* principles.

The analysis demonstrates a direct and positive relationship between TPM and ECSU, with a standardized coefficient of $\beta=0,340$ ($p<0,001$), accounting for 19,1 % of ECSU variability. Additionally, TPM exerts an indirect effect through *jidoka*, with a coefficient of $\beta=0,226$, culminating in a total effect of 0,565 and explaining up to 31,9 % of the ECSU variability.

Figure 4 illustrates three distinct phases of the relationship: an initial phase of early adoption that yields substantial economic returns ($\beta=0,80-0,67$), an intermediate learning plateau where benefits stabilize ($\beta=0,13-0,19$), and an advanced optimization phase in which mature TPM sustains economic benefits ($\beta=0,43-0,75$). This three-phase pattern aligns with organizational technology adoption theory, which posits that initial improvements target fundamental inefficiencies, followed by a period where organizations develop competence, ultimately achieving advanced optimization. In essence, TPM directly influences ECSU by reducing operating costs, minimizing losses due to unplanned downtime, and optimizing the asset lifecycle, corroborating the findings of Díaz-Reza et al. (2022).

The findings clearly indicate that *jidoka* exerts a direct and positive influence on ECSU ($\beta=0,358$, $p<0,001$), accounting for up to 20,4 % of its variability. Figure 5 depicts an exponential growth relationship, with coefficients rising from $\beta=0,03$ at initial levels to $\beta=0,34$ at higher levels of *jidoka*, which signifies an acceleration in economic benefits.

This exponential pattern underscores key characteristics of *jidoka*, where initial economic gains remain modest due to the investments necessary to yield significant impacts. During the early stages, organizations built essential anomaly detection capabilities but experienced limited economic benefits because of the learning costs and initial investments in automated systems. As systems mature, however, a multiplier effect emerges; the capability to automatically halt production upon detecting defects results in exponential savings, prevents the mass production of defective products, reduces reprocessing costs, minimizes material waste, and enhances overall quality.

A significant finding of this study demonstrates that *jidoka* mediates the relationship between TPM and ECSU ($\beta=0,226$, $p<0,001$). This mediation enhances the total effect of TPM on ECSU, increasing it from 0,340 to 0,566. This enhancement indicates that certain economic benefits of TPM flow through the capabilities of *jidoka*. Consequently, maquiladoras can maximize their economic returns on TPM investments by concurrently implementing *jidoka* systems, thus creating synergies that amplify sustainable economic benefits.

The sensitivity analysis offers compelling evidence of these relationships, indicating a probability of 0,490 for *jidoka* occurring at high levels. However, the probability of *jidoka* occurring at low levels when TPM is at high levels is only 0,020. These findings clearly demonstrate the strong positive dependence between the two methodologies and support a joint implementation strategy to maximize organizational benefits.

CONCLUSIONS

This study presents an integrated conceptual model that empirically validates the causal relationships among TPM, *jidoka*, and ECSU within the manufacturing industry. The findings provide scientific evidence supporting the synergies between these lean methodologies. Specifically, the study affirms the three proposed hypotheses: it demonstrates that TPM directly and positively influences *jidoka* ($\beta=0,632$), that TPM directly impacts ECSU ($\beta=0,340$), and that *jidoka* significantly contributes to ECSU ($\beta=0,358$). Furthermore, the analysis identifies *jidoka*'s mediating effect in the TPM-ECSU relationship ($\beta=0,226$), which enhances the total effect to $\beta=0,566$.

The findings substantiate the joint application of Resource and Capability Theory alongside Systems Theory to elucidate the interrelationships among lean methodologies. The results reveal that TPM and *jidoka* serve as complementary organizational capabilities, and their integrated implementation yields sustainable competitive advantages that produce greater economic benefits compared to their isolated applications. This study advances scientific knowledge by providing empirical evidence of the systemic nature of lean practices, demonstrating that value is maximized through synergistic integration rather than through the independent use of individual tools.

The graphical analyses presented in this study reveal nonlinear patterns in the relationships, offering valuable information for strategic management. In the case of the TPM-*jidoka* relationship, the saturation curve identifies an optimal balance point at which investments in both methodologies yield maximum returns. Regarding TPM-ECSU, the three-phase pattern highlights the necessity for tailored implementation strategies that align with the organization's maturity level, acknowledging that economic benefits fluctuate significantly throughout the adoption process. In the *jidoka*-ECSU relationship, the exponential nature of the interaction underscores the critical importance of persistence and long-term vision in the implementation process, as substantial benefits typically materialize only after organizations navigate initial learning and investment challenges.

The study faces several limitations, primarily due to its restricted geographical focus on the Maquiladora industry in Ciudad Juárez, Mexico. This narrow concentration limits the generalizability of the findings to other industrial and cultural contexts. The cross-sectional design employed in the research constrains the ability to establish definitive causal relationships among the examined variables. The absence of moderating variables, such as organizational size, technological maturity, and the specific industrial sector, diminishes the strength of the observed relationships. Additionally, this study predominantly emphasizes economic benefits and pays little attention to the environmental and social dimensions of sustainability that are increasingly pertinent in contemporary discourse.

Future research should involve longitudinal studies to capture the temporal evolution of the relationships between TPM, *jidoka*, and ECSU, thereby establishing definitive causality. Additionally, researchers should perform cross-cultural comparative analyses to validate the model across various geographical and industrial contexts. It is essential to integrate moderating variables such as digitalization, Industry 4.0, and dynamic organizational capabilities into future studies. Researchers should also strive to develop comprehensive sustainability models that encompass both environmental and social dimensions through triple impact constructs.

The study presents robust empirical evidence underscoring the significance of implementing TPM and *jidoka* as strategies to enhance ECSU in lean manufacturing environments. It offers a theoretical and practical framework for optimizing organizational resources and attaining sustainable competitive advantages, which ultimately contribute to improved economic performance and sustainable industrial development.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflicts of interest.

CREDIT AUTHOR STATEMENT

Jorge Luis García Alcaraz: Writing-original drafting, writing, proofreading, editing, conceptualization, data curation, methodology, and research. **Jorge Limón Romero:** Writing, revision and editing, supervision, conceptualization, and visualization. **Yolanda Báez López:** Writing, proofreading, and editing, supervision, and visualization. **Juan Carlos Quiroz Flores:** Software, writing, revision, and editing. **Arturo Realvásquez Vargas:** Writing-original drafting, proofreading, editing, and conceptualization.

REFERENCES

- Ahuja, I. P. S., & Khamba, J. S. (2008). Total productive maintenance implementation in a manufacturing organisation. *International Journal of Productivity and Quality Management*, 3(3), 360–381. <https://doi.org/10.1504/IJPM.2008.017504>
- Arief, I., Hasan, A., Putri, N. T., & Rahman, H. (2023). Literature reviews of RBV and KBV theories reimaged: A technological approach using text analysis and Power BI visualization. *International Journal on Informatics Visualization*, 7(4), 2532–2542. <https://dx.doi.org/10.62527/joiv.7.4.1940>
- Balouei Jamkhaneh, H., Khazaei Pool, J., Khaksar, S. M. S., Arabzad, S. M., & Verij Kazemi, R. (2018). Impacts of computerized maintenance management system and relevant supportive organizational factors on total productive maintenance. *Benchmarking*, 25(7), 2230–2247. <https://doi.org/10.1108/BIJ-05-2016-0072>
- Bekar, E. T. (2023). Efficiency measurement based on novel performance measures in Total Productive Maintenance (TPM) Using a fuzzy integrated COPRAS and DEA method. *Frontiers in Manufacturing Technology*, 3, article 1072777. <https://doi.org/10.3389/fmtec.2023.1072777>
- Cantini, A., Ahmadi, A., Presciuttini, A., & Portioli-Staudacher, A. (2024). *Jidoka* advancements and applications for empowering manufacturing and operations: a bibliometric review. In XXIX AIDI Summer School Francesco Turco – Industrial systems engineering. https://www.summerschool-aidi.it/images/papers/session_3_2024/1108_Cantini.pdf
- Chaabane, K., Schutz, J Dellagi, S., & Trabelsi, W.. (2021). Analytical evaluation of TPM performance based on an economic criterion. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 27(2), 413–429. <https://doi.org/10.1108/JQME-08-2019-0085>
- Cua, K. O., McKone, K. E., & Schroeder, R. G. (2001). Relationships between implementation of TQM, JIT, and TPM and manufacturing performance. *Journal of Operations Management*, 19(6), 675–694. [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(01\)00066-3](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(01)00066-3)

- Danguche, I., & Taifa, I. W. R. (2023). Factors Influencing Total Productive Maintenance Implementation for Thermal Generation Plants. *Tanzania Journal of Engineering and Technology*, 42(1), 97–112 <https://journals.udsm.ac.tz/index.php/tjet/article/view/9156>
- Díaz-Reza, J. R., García-Alcaraz, J. L., Figueroa, L. J. M., Vidal, R. P., & Muro, J. C. S. D. (2022). Relationship between lean manufacturing tools and their sustainable economic benefits. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, (123), 1269–1284. <https://doi.org/10.1007/s00170-022-10208-0>
- Gelaw, M. T., Azene, D. K., & Berhan, E. (2024). Assessment of critical success factors, barriers and initiatives of total productive maintenance (TPM) in selected Ethiopian manufacturing industries. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 30(1), 51–80. <https://doi.org/10.1108/JQME-11-2022-0073>
- Hair, J., & Alamer, A. (2022). Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) in second language and education research: Guidelines using an applied example. *Research Methods in Applied Linguistics*, 1(3), 100027. <https://doi.org/10.1016/j.rmal.2022.100027>
- Hair, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2017). *A primer on partial least Squares structural equation modeling (PLS-SEM)* (2nd ed.). Sage.
- Halloui, A., Herrou, B., Katina, P. F., Santos, R. S., Egbue, O., Jasiulewicz-Kaczmarek, M., Soares, J. M., & Marques, P. C. (2023). A review of Sustainable Total Productive Maintenance (STPM). *Sustainability*, 15(16), 12362. <https://doi.org/10.3390/su151612362>
- Kock, N. (2021). *WarpPLS user manual: Version 7.0*. ScriptWarp Systems.
- Kock, N. (2023). Contributing to the success of PLS in SEM: An action research perspective. *Communications of the Association for Information Systems*, 52(1), 730–734. <https://aisel.aisnet.org/cais/vol52/iss1/48/>
- Kock, N., & Hadaya, P. (2018). Minimum sample size estimation in PLS-SEM: The inverse square root and gamma-exponential methods. *Information Systems Journal*, 28(1), 227–261. <https://doi.org/10.1111/isj.12131>
- Koteswarapavan, C., & Pattanaik, L. N. (2024). A novel tool-input-process-output (TIPO) framework for upgrading to lean 4.0. *International Journal of Production Management and Engineering*, 12(1), 65–77. <https://doi.org/10.4995/ijpme.2024.19723>
- Martínez-Loya, V., Díaz-Reza, J. R., García-Alcaraz, J. L., & Tapia-Coronado, J. Y. (2018). SEM: A global technique—Case applied to TPM. In J. L. García-Alcaraz, G. Alor-Hernández, A. A. Maldonado-Macías, & C. Sánchez-Ramírez (Eds.), *New*

perspectives on applied industrial tools and techniques (pp. 3–22). Springer International Publishing.

- Mendes, D., Gaspar, P. D., Charrua-Santos, F., & Navas, H. V. G. (2023). Integrating TPM and Industry 4.0 to increase the availability of industrial assets: A case study on a conveyor belt. *Processes*, 11(7), 1956. <https://doi.org/10.3390/pr11071956>
- Nakajima, S. (1989). *TPM development program: Implementing total productive maintenance*. Productivity Press.
- Oroye, O. A., Sylvester, B. O., & Farayibi, P. K. (2022). Total productive maintenance and companies performance: A case study of fast moving consumer goods companies. *Jurnal Sistem dan Manajemen Industri*, 6(1), 23–32. <https://doi.org/10.30656/jsmi.v6i1.4185>
- Parsazadeh, N., Ali, R., Rezaei, M., & Tehrani, S. Z. (2018). The construction and validation of a usability evaluation survey for mobile learning environments. *Studies in Educational Evaluation*, (58), 97–111. <https://doi.org/10.1016/j.stueduc.2018.06.002>
- Pascal, V., Toufik, A., Manuel, A., Florent, D., & Frédéric, K. (2019). Improvement indicators for total productive maintenance policy. *Control Engineering Practice*, (82), 86–96. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2018.09.019>
- Pramod, V. R., Devadasan, S. R., & Jagathy Raj, V. P. (2010). Quality improvement in engineering education through the synergy of TPM and QFD. *International Journal of Management in Education*, 4(1), 1–24. <https://doi.org/10.1504/IJMIE.2010.029879>
- Quiroz-Flores, J. C., & Vega-Alvites, M. L. (2022). Review lean manufacturing model of production management under the preventive maintenance approach to improve efficiency in plastics industry SMES: A case study. *South African Journal of Industrial Engineering*, 33(2), 143–156. <https://doi.org/10.7166/33-2-2711>
- Rada, E. C., Nicolae, I., Zerbis, M.-V., Tulbure, A., Karaeva, A., Torretta, V., & Giurea, R. (2024). Implementation of a performance management system for environmental sustainability in an industrial organization. *Journal of Physics Conference Series*, 2857(1), 012030. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2857/1/012030>
- Samadhiya, A., Agrawal, R., Kumar, A., & Garza-Reyes, J. A. (2023). Blockchain technology and circular economy in the environment of total productive maintenance: A natural resource-based view perspective. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 34(2), 293–314. <https://doi.org/10.1108/JMTM-08-2022-0299>
- Shingo, S., & Dillon, A. (1989). *A study of the Toyota Production System: From an industrial engineering viewpoint* (1st ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315136509>

- Tamás, P., Tollár, S., Illés, B., Bányai, T., Tóth, Á. B., & Skapinyecz, R. (2020). Decision support simulation method for process improvement of electronic product testing systems. *Sustainability*, 12(7), 3063. <https://doi.org/10.3390/su12073063>
- Valverde-Curi, H., De-La-Cruz-Angles, A., Cano-Lazarte, M., Alvarez, J. M., & Raymundo-Ibañez, C. (2019). *Lean management model for waste reduction in the production area of a food processing and preservation SME*. In The 5th International Conference Proceeding on Industrial and Business Engineering. <https://doi.org/10.1145/3364335.3364378>
- Womack, J. P., Jones, D., & Ross, D. (2017). *La máquina que cambió el mundo: la historia de la producción lean, el arma secreta de Toyota que revolucionó la industria mundial del automóvil*. Profit.
- Zhang, X. Z. & Chin, J. F. (2021). Implementing total productive maintenance in a manufacturing small or medium-sized enterprise. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 14(2), 152. <https://doi.org/10.3926/jiem.3286>
- Zhou, Z. R., Xiong, X. Q., Wang, J. X., & Bai, H. T. (2022). Equipment management of customized furnishing manufacturers based on total productive maintenance. *Chinese Journal of Wood Science and Technology*, 36(3), 20–25. <https://dx.doi.org/10.12326/j.2096-9694.2021169>

CICLO DE MEJORA CONTINUA APLICADO AL ÁREA DE MARKETING DIGITAL DE LA CÁMARA DE COMERCIO DE LA CIUDAD DE GUASAVE, SINALOA

XÓCHITL PATRICIA FLORES GUTIÉRREZ*

<https://orcid.org/0000-0001-6468-3865> División de Ciencias Industriales, Tecnológico
Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Guasave, México

JOSÉ ANTONIO SANDOVAL-ACOSTA†

<https://orcid.org/0000-0002-5784-9932> División de Ciencias Computacionales, Tecnológico
Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Guasave, México

MARA DEL ROSARIO LÓPEZ RODRÍGUEZ

<https://orcid.org/0009-0006-9329-3421> División de Ciencias Industriales, Tecnológico
Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Guasave, México

DAYRA FLORES ZAVALA

<https://orcid.org/0009-0001-3900-9956> División de Ciencias Industriales, Tecnológico
Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Guasave, México

Recibido: 23 de mayo del 2025 / Aceptado: 17 de julio del 2025

Publicado: 19 de diciembre del 2025

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2025.n049.7974>

RESUMEN. El presente estudio aplica el ciclo de mejora continua PHVA (planear, hacer, verificar, actuar) en el Área de Marketing Digital de la Cámara de Comercio de Guasave, Sinaloa, con el objetivo de fortalecer la presencia digital institucional. Se empleó un enfoque mixto que combina entrevistas, observación directa, análisis documental y métricas digitales.

Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

* Autor correspondiente.

Correos electrónicos en orden de aparición: xochitl.fg@guasave.tecnm.mx; maralr@guasave.tecnm.mx; l2025010124@guasave.tecnm.mx

† Fallecido antes de la publicación de este artículo

Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

Con base en el diagnóstico inicial, se diseñaron estrategias como la calendarización de contenidos, *benchmarking* con otras cámaras de comercio y una propuesta de rediseño web. Los resultados mostraron una mejora promedio de 47 nuevos seguidores y 82 comentarios, lo que refleja un aumento significativo en la interacción activa del público. Asimismo, se identificó una variación negativa en el indicador reacciones, interpretada como un cambio hacia formas de participación más activas. Los hallazgos justifican la necesidad de actualizar la página web institucional y confirman la utilidad del ciclo PHVA para generar mejoras y ser un modelo replicable.

PALABRAS CLAVE: ciclo PHVA / proceso de mejora continua / *marketing* en internet / digital

CONTINUOUS IMPROVEMENT CYCLE APPLIED TO THE DIGITAL MARKETING AREA OF THE CHAMBER OF COMMERCE OF THE CITY OF GUASAVE, SINALOA

ABSTRACT. This study applied the PHVA continuous improvement cycle to the digital marketing area of the Chamber of Commerce in Guasave, Sinaloa, aiming to strengthen its institutional presence on digital platforms. A mixed-methods approach was used, combining interviews, direct observation, document analysis, and digital metrics. Based on an initial diagnosis, strategies were designed such as content scheduling, benchmarking with other chambers of commerce, and a preliminary website redesign proposal. The results showed an average improvement of 47 new followers and 82 comments, reflecting an increase in active audience interaction. A negative change was also identified in the reactions indicator, interpreted as a shift toward more active forms of participation. The findings justify the need to update the institutional website and confirm the usefulness of the PDCA cycle for generating improvements and serving as a replicable model.

KEYWORDS: PDCA cycle / continuous improvement process / internet marketing / digital

INTRODUCCIÓN

En estos momentos en que las organizaciones enfrentan cambios sustanciales tendientes a mejorar continuamente para permanecer, la implementación de revisiones constantes en sus procedimientos internos es precisa para lograr los mejores resultados posibles. En este contexto, Rajagopalan (2021) describe que, para las empresas, la mejora continua ayuda a reducir el reproceso, por lo que en su trabajo publicado concluye que aplicar la herramienta del ciclo de Deming mejora considerablemente la productividad en los procesos empresariales.

La labor de una cámara de comercio es representar al sector terciario conformado por comercios, turismo y servicios de todo tipo. De acuerdo con Mundo Startupero (2023), este sector es uno de los más importantes para el desarrollo y crecimiento de México, pues representa más del 35 % del producto bruto interno y emplea más del 60 % de la fuerza laboral. La cámara de comercio de esta investigación es una institución de interés público, autónoma, con personalidad jurídica y patrimonio propio que representa, defiende y promueve los intereses generales del sector ante el gobierno municipal, estatal y federal, junto con la propia iniciativa privada (Canaco Servytur Guasave, 2022). Ofrece servicios como capacitación, estudios de mercado, diagnósticos empresariales, consultoría en asuntos jurídicos y turísticos, así como en materia de comercio exterior. Sin embargo, enfrenta desafíos en cuestión de *marketing* digital, su red social Facebook no muestra crecimiento y la página web tiene más de dos años sin actualizarse. Por su parte, Ramírez et al. (2022) describen que las cámaras de comercio desempeñan un papel fundamental como organismos articuladores del desarrollo regional y actúan como entidades sin fines de lucro que agrupan a comerciantes y empresarios con el objetivo de salvaguardar y promover intereses comunes. Su función va más allá de la supervisión, puesto que impulsa estrategias comerciales, fomenta el flujo de capital y difunde conocimiento útil para la mejora organizacional. Estas instituciones fortalecen las redes empresariales mediante acciones alineadas con las operaciones productivas, por lo que su labor genera dinámicas innovadoras y tácticas que contribuyen al crecimiento socioeconómico sostenible de la región.

La mercadotecnia digital se ha convertido en un elemento importante en las empresas y, en este sentido, Pérez Sarmiento et al. (2025) revelan que ha habido un aumento en la investigación sobre mercadotecnia digital en empresas, sin embargo, sigue siendo limitada. En su trabajo de investigación destacan el uso de redes sociales y estrategias digitales que constituyen el llamado *marketing mix*. Es preciso que las empresas implementen estas herramientas para atender las exigencias del mercado actual, lo cual ayuda a fortalecer las posibilidades de tener éxito. El *marketing* digital se refiere a una serie de prácticas que implica la utilización de canales de comunicación, inteligencia artificial y productos digitales como sitios web, motores de búsqueda, redes sociales, correo electrónico y creación de contenidos (Setkute & Dibb, 2022), cada uno con mejores prácticas y técnicas únicas que lo hacen complejo de

implementar. Con base en la importancia que implica la mejora en el *marketing* digital, Ahumada Luyando et al. (2023) indican que se deben considerar las herramientas que este ofrece para la captación de clientes, como ocurre en este estudio respecto a la captación y permanencia de socios.

Las operaciones y procesos del Área de Marketing Digital, como lo indica Pérez Sarmiento et al. (2025), representan una función fundamental en los procesos de las empresas, debido a que el *marketing* electrónico promueve el acercamiento de la organización con el público objetivo. La mercadotecnia electrónica necesita de un plan que contenga estrategias digitales integradas en la mejora continua del posicionamiento empresarial como la imagen, el nivel de eficiencia y el posicionamiento de mercado. Como estrategia de mejora continua, la aplicación de la metodología del ciclo de Deming, según Deming (1989, como se cita en Montesinos González et al., 2020), es importante porque permite implementar herramientas básicas de mejora continua, entre ellas la lluvia de ideas, diagramas causa-efecto, gráficas, análisis de Pareto y hojas de verificación. En este sentido, es evidente que la aplicación de esta metodología contribuye a la optimización de procesos empresariales que, complementada con herramientas de análisis, puede generar impactos positivos y sostenibles en la gestión empresarial.

En el ámbito empresarial, la aplicación del ciclo de Deming para la mejora continua ha sido un proceso relevante a considerar, ya que, como señalan Sánchez García et al. (2024), este enfoque permite perfeccionar los procesos productivos aun cuando no se encuentren definidos formalmente, lo que genera cambios sustanciales en su optimización. En el caso de la cámara de comercio, esto se evidencia en una mejora en la atención a sus afiliados. En este sentido, se demuestra que el ciclo de Deming es una metodología útil para el fortalecimiento de la competitividad en empresas de cualquier sector económico, pues contribuye al desarrollo de los procesos organizacionales en todos los ámbitos de la empresa.

La mejora continua en procesos empresariales es fundamental para el éxito y la sostenibilidad de las organizaciones. Por ello, Byrne et al. (2021) revisaron las estrategias de fortalecimiento de la cultura empresarial y la eficiencia en la gestión, donde resaltaron que la responsabilidad de impulsar la mejora continua es del directivo, la cual debe evaluar la calidad de los procesos. Asimismo, se resalta la relevancia del ciclo de Deming como herramienta que acentúa este compromiso directivo, promoviendo una cultura organizacional orientada a la mejora continua, esencial para una gestión de calidad exitosa y para la capacitación de los colaboradores.

Otro de los trabajos referentes al ciclo de Deming es el presentado por Ibañez Rodríguez (2024), cuyo objetivo es mejorar la satisfacción del cliente en el sector de uniformes médicos. Este documento narra la aplicación del método PHVA (planificar, hacer, verificar, actuar) para evaluar la satisfacción del cliente y destaca un aumento en el Net Promoter Score (NPS) de 13 a 43 aunado a la disminución del 54 % al 30 % en el segmento

de clientes pasivos. Independientemente del proceso de producción de la empresa, el mejoramiento de estos es una prioridad para la optimización de la productividad, lo que implica la coherencia entre personal, equipos y maquinaria, manteniendo la sinergia con el fin de conservar los estándares de calidad y la eficiencia en el trabajo, tal como Chen et al. (2020) expresan en la difusión de la aplicación de la metodología Deming en los procesos productivos. En este trabajo de tipo descriptivo, se aplicaron los 14 puntos de la metodología Deming para verificar la mejora del producto o servicio, garantizando la calidad y la satisfacción del cliente.

Un estudio realizado por Rajagopalan (2021) abordó la implementación del ciclo *plan-do-check-act* en la sistematización de la mejora continua de los procesos en las empresas como un recurso esencial en el logro de los objetivos de las entidades. En el contexto de la mejora continua basada en el ciclo de Deming, un estudio realizado en México por Montesinos González et al. (2020) analizó los resultados de su aplicación en el área de inventarios. Esta metodología se ejecutó en conjunto con otras herramientas, como la lluvia de ideas, las hojas de verificación, los diagramas causa-efecto y el análisis FODA. Como resultado, se logró un incremento del 4,04 % en el rendimiento del área de almacenamiento e inventarios. Por lo tanto, se concluyó que la mejora continua basada en el ciclo de Deming tuvo un impacto significativo en su rendimiento, por lo que se consideró viable para aplicarse en otros almacenes de la misma empresa o en similares negocios que manejen el área de almacén.

En esta línea, los autores Chen et al. (2020) explican cómo la metodología Deming, a través de la aplicación del ciclo PHVA, se empleó para optimizar los procesos productivos de una empresa manufacturera dedicada a la elaboración de equipos en acero inoxidable. El objetivo era mejorar la calidad y eficiencia operativa mediante la implementación de los puntos de Deming, con enfoque en la satisfacción del cliente y el cumplimiento de estándares de calidad. La metodología utilizada fue descriptiva e inductiva. Los resultados mostraron que el ciclo PHVA contribuye a la mejora continua de procesos, asegurando la calidad en los productos y la satisfacción del cliente. En las conclusiones, se realza la importancia de implementar modelos de gestión de calidad en empresas manufactureras para incrementar su competitividad en el mercado. Este estudio debe considerarse en el presente trabajo, puesto que demuestra la aplicabilidad del ciclo PHVA en diferentes contextos organizacionales; desde este punto de vista, los fundamentos del ciclo de Deming se adaptan muy bien al ámbito del *marketing* digital para mejorar continuamente las estrategias y tácticas empleadas, optimizando así el rendimiento y la satisfacción de los clientes en el sector comercial de la región que atiende la Cámara de Comercio.

La necesidad de fortalecer la presencia digital en organismos empresariales es respaldada por diversos estudios. Según Chaffey y Ellis-Chadwick (2019, como se cita en Paendong et al., 2023), una estrategia de *marketing* digital débil reduce la competitividad y

la capacidad de las organizaciones para atraer a nuevos usuarios y retener a los actuales. Además, autores como Botelho Pires et al. (2024) destacan que las pequeñas y medianas empresas que no adaptan sus canales digitales presentan un menor crecimiento y visibilidad en su entorno local. En el caso de organismos como las cámaras de comercio, cuya función incluye la representación y promoción de sus afiliados, la falta de actualización de plataformas digitales impacta negativamente en su alcance, percepción y valor percibido (Pandey et al., 2020). Por ello, se justifica la necesidad de aplicar una metodología estructurada, como el ciclo PHVA, para abordar esta problemática de forma sistemática y medible.

Un estudio realizado por Chan et al. (2023) destaca la efectividad del modelo PHVA como herramienta estratégica para mejorar el desempeño organizacional mediante el aprendizaje y la innovación. Propone un enfoque empírico que demuestra que la aplicación de mejoras continuas incrementa la eficiencia operativa, optimizando procesos clave y generando valor sostenible en contextos con desafíos estructurales.

Con base en lo anterior, es evidente que el ciclo PHVA presenta una metodología aplicada ampliamente en la mejora de los procesos, por lo que es considerado como una herramienta útil que ha tenido aportes importantes en las empresas de todos los sectores. Al respecto, en su revisión documental, Montesinos González et al. (2020) mencionan que existe un volumen considerable de artículos relacionados, pero también destacan debilidades metodológicas en estas publicaciones.

Actualmente, la Cámara de Comercio de Guasave enfrenta limitaciones notables en su presencia digital, entre estas se pueden mencionar: la falta de actualización de la página web por más de dos años y el bajo crecimiento en su red social Facebook. Este esquema ha limitado la difusión de sus servicios, la captación de nuevos socios y, sobre todo, la continuidad del interés de los socios actuales. Ante esta problemática, la pregunta de investigación es la siguiente: ¿cómo puede la aplicación del ciclo PHVA de mejora continua optimizar la estrategia de *marketing* digital de la Cámara de Comercio de Guasave para perfeccionar su presencia digital y la interacción con el público objetivo?

El planteamiento de este problema se derivó tras un análisis preliminar de métricas en redes sociales y una revisión interna del estado del sitio web, así como mediante entrevistas informales al personal del organismo, quienes manifestaron la necesidad de modernizar su estrategia digital para mantenerse competitivos en un entorno donde la comunicación digital es clave.

Esta investigación tiene como objetivo aplicar el ciclo de mejora continua al proceso de *marketing* digital de la Cámara de Comercio ubicada en la ciudad de Guasave, Sinaloa. El impacto del estudio es que ayuda al organismo empresarial a contar con un mejor uso de las estrategias de *marketing* digital y sus herramientas para generar contenido más planificado, con mejor diseño y con mayor interacción con el público. Se busca que la

Cámara sea más conocida por sus agremiados actuales y potenciales, con el propósito de destacar sus servicios y los beneficios de pertenecer a ella. A su vez, ello permitirá reducir la brecha entre los avances tecnológicos, las nuevas técnicas de mercadotecnia y las estrategias de *marketing* actualmente utilizadas. La implementación de estrategias eficaces de *marketing* digital en la Cámara de Comercio puede generar beneficios sociales significativos para sus agremiados: aumento de la visibilidad de los negocios afiliados mediante una mayor presencia en las redes sociales, la mejora en la interacción entre socios y la consolidación de alianzas comerciales. Estos elementos contribuyen al fortalecimiento de la identidad de marca y a una mayor proyección ante clientes potenciales. Además, el *marketing* digital facilita la captación de nuevos clientes, la promoción de productos y servicios, y el acceso a programas de capacitación orientados al uso de herramientas tecnológicas. Estas acciones no solo impulsan la competitividad de las empresas, sino que también promueven su adaptación a las exigencias del entorno digital actual. De acuerdo con Rangaswamy et al. (2020), el uso estratégico del *marketing* digital representa una oportunidad para generar valor social y económico en redes empresariales colaborativas.

METODOLOGÍA

El presente estudio se realizó bajo el tipo de investigación descriptiva, es decir, pretende describir la forma en que se aplica el ciclo de Deming y el impacto de los resultados del *marketing* digital. Asimismo, es una investigación explicativa, cuyo fin es entender cómo y por qué los cambios en el *marketing* digital afectan el posicionamiento y los contenidos web. La unidad de análisis está conformada por los procesos de *marketing* digital.

El enfoque considerado en la investigación es mixto, debido a que el uso de datos cuantitativos proporciona una base sólida, como lo describen Matović y Ovesni (2023), que hace posible la medición del efecto de estrategias de investigación, en este caso, las de *marketing* digital y la efectividad del ciclo de Deming en términos de resultados tangibles. A su vez, los datos cualitativos ayudan a comprender mejor el contexto, las razones detrás de los resultados y cómo mejorar en relación con la retroalimentación recibida. En este sentido, Åkerblad et al. (2020) describen que el enfoque mixto combina procesos sistemáticos y empíricos para abordar los problemas identificados en el estudio. Los autores indican que este enfoque es fundamental para dar respuesta a fenómenos que carecen de una teoría sólida sobre la integración de los enfoques, por lo que se utiliza esta estrategia que explica cómo vincular y justificar los métodos empleados según el propósito de esta investigación. A través del análisis relacionado, se identifican distintas formas de integración: multiperspectiva, basada en teoría y síntesis teórica, lo que enriquece el campo metodológico al ofrecer una guía para integrar datos cualitativos y cuantitativos de forma coherente, fortaleciendo así la validez y profundidad de las investigaciones mixtas.

Para la recolección de datos, se emplearon entrevistas semiestructuradas aplicadas al personal encargado del Área de Marketing y a los directivos de la Cámara de Comercio, con el objetivo de conocer sus percepciones sobre el desempeño de la estrategia digital, los procesos internos, las áreas de oportunidad y los factores externos que influyen en la presencia institucional en medios digitales. Las entrevistas semiestructuradas son especialmente útiles en investigaciones organizacionales, ya que facilitan la obtención de información detallada desde la perspectiva de actores estratégicos, permitiendo al investigador profundizar en temas relevantes y adaptar el diálogo conforme emergen nuevos elementos analíticos (Yin, 2018). El instrumento utilizado y los resultados de su aplicación se presentan en el Anexo A.

Asimismo, se realizó una observación directa de las publicaciones, frecuencia y tipos de contenido en la página de Facebook de la Cámara, seguido del análisis documental de métricas extraídas desde las plataformas Facebook Insights y Google Analytics, las cuales brindaron datos cuantitativos sobre el rendimiento de las publicaciones, como número de seguidores, reacciones, comentarios y tráfico web. Estas herramientas permitieron recolectar información concreta sobre el impacto digital antes y después de la intervención.

También se desarrolló un proceso de *benchmarking* digital, aplicado mediante la revisión sistemática de las plataformas web y redes sociales de otras cámaras de comercio del país (como Canaco Monterrey, Guadalajara, Ciudad de México, Los Cabos, Tijuana y Culiacán). Lobo et al. (2022), destacan al *benchmarking* como una herramienta clave en la segunda etapa del ciclo PHVA para comparar el desempeño organizacional con estándares de referencia. Se utilizó una matriz de comparación que contempló criterios como diseño web, frecuencia de publicación, interacción con usuarios y tipo de contenido. Estas herramientas de recolección permitieron obtener datos primarios y secundarios que fortalecieron el diagnóstico situacional, el diseño de las propuestas de mejora y la evaluación de resultados dentro del ciclo PHVA. La triangulación de estos métodos aportó solidez a los hallazgos al integrar perspectivas cualitativas y cuantitativas de manera complementaria.

Para el análisis cuantitativo de los indicadores clave de desempeño (KPI) del marketing digital —nuevos seguidores, reacciones y comentarios— se utilizó el método de promedio ponderado, con el propósito de evaluar la mejora lograda tras la implementación de las estrategias derivadas del ciclo PHVA.

El promedio ponderado se calculó asignando pesos diferenciados a cada semana de observación, con el fin de reflejar la evolución temporal del desempeño y otorgar mayor relevancia a los resultados más recientes. En específico, se asignaron pesos decrecientes de 7, 6, 5, 4, 3, 2 y 1 a los valores correspondientes a las semanas 7, 6, 5, 4, 3, 2 y 1, respectivamente. De esta manera, las semanas más cercanas al cierre del periodo de análisis tuvieron un mayor impacto en el cálculo final, al considerarse más representativas del efecto real de las estrategias implementadas.

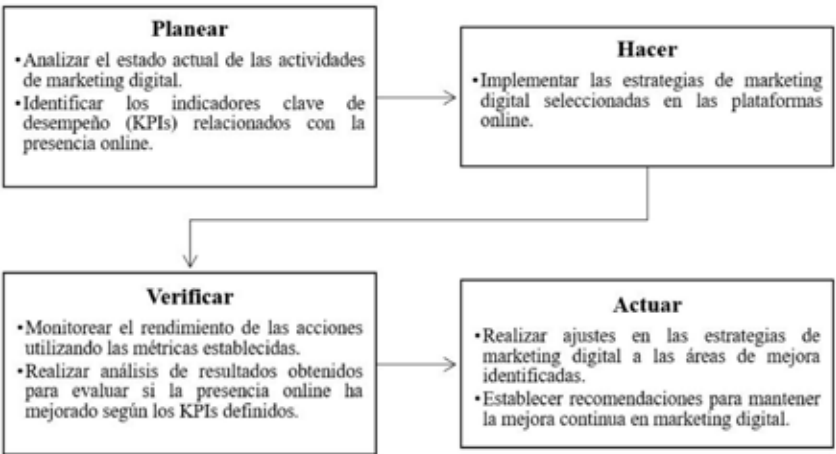
El valor del promedio ponderado se obtuvo dividiendo la suma de los productos entre cada valor semanal y su respectivo peso, entre la suma total de los pesos asignados. Posteriormente, la mejora lograda se determinó mediante la diferencia entre el promedio ponderado y el valor registrado en la semana 0, utilizada como línea base. Este procedimiento permitió una evaluación más precisa y conservadora del impacto de la intervención, minimizando la influencia de variaciones atípicas en las primeras semanas de implementación.

En el enfoque cualitativo, se considera que, a lo largo de la implementación del ciclo de Deming, es necesario examinar cómo los cambios se perciben en un contexto más amplio, por ejemplo, el análisis de contenido web permite identificar tendencias, temas relevantes o calidad de los textos. Las entrevistas y las observaciones ayudan a obtener información cualitativa sobre cómo los colaboradores de la Cámara de Comercio interpretan los cambios implementados. De acuerdo con esto, la naturaleza de esta investigación considera utilizar métodos cualitativos para analizar los datos, a través del análisis descriptivo y el análisis de contenido.

La aplicación del ciclo PHVA, en el caso particular de este estudio, consiste en el desglose de las actividades clave que se consideran en cada fase enfocada en la mejora de la presencia *online* en el Área de Marketing Digital de la Cámara de Comercio de Guasave. En cuanto al alcance, los resultados son aplicables principalmente a organismos empresariales de naturaleza similar, como cámaras de comercio y asociaciones empresariales regionales que enfrentan desafíos en su posicionamiento digital. No obstante, el enfoque metodológico empleado, basado en la aplicación del ciclo PHVA, constituye un modelo transferible y adaptable, susceptible de replicarse en otras organizaciones que busquen fortalecer su presencia digital mediante procesos de mejora continua. Considerando a Montesinos González et al. (2020), la metodología del ciclo de Deming se divide como se ilustra en la Figura 1.

Figura 1

Proceso del ciclo de Deming aplicado



RESULTADOS

Los resultados del trabajo realizado se presentan de acuerdo con las fases del ciclo PHVA de la mejora continua. En este ciclo, se integraron técnicas cualitativas y cuantitativas del enfoque mixto para evidenciar el grado de avance, la lógica de intervención y el impacto medible de las estrategias implementadas en la mejora de la presencia digital de la Cámara de Comercio de Guasave, Sinaloa.

La primera fase es Planificar, la cual Moyano-Hernández y Villamil (2021) definen como la etapa principal, debido a que se determinan los problemas y sus causas con la finalidad de buscar, proponer y ejecutar mejoras. Asimismo, se determinan los objetivos para conocer los límites y se establecen las herramientas y métodos que se van a utilizar. En esta etapa, se realizó un diagnóstico situacional de las actividades del Área de Marketing Digital, donde se aplicaron entrevistas semiestructuradas, observación directa de los canales digitales y análisis documental del sitio web y redes sociales. La información recolectada fue analizada con un FODA (ver la Figura 2), lo que permitió identificar como debilidad la desactualización de la página web institucional, la poca interacción en Facebook y la ausencia de una estrategia de contenidos. Como amenazas se identificaron la rápida evolución tecnológica y el desinterés que muestran los socios afiliados a la Cámara por los canales digitales.

Figura 2
Resultados del análisis FODA

| FACTORES INTERNOS | |
|----------------------------------|---|
| FORTALEZAS (+) | DEBILIDADES (-) |
| Contenido de calidad | Sitio web desactualizado |
| Publicaciones frecuentes | Resistencia al cambio |
| Diseño de contenido | Falta de información para publicaciones |
| Cliente como prioridad | Poca visibilidad de las publicaciones |
| FACTORES EXTERNOS | |
| OPORTUNIDADES (+) | AMENAZAS (-) |
| Expansión a otras redes | Competencia |
| Mayor interacción con el público | Desinterés del público |
| Mayor colaboración con socios | Cambios en las normas de contenido |
| Publicidad pagada | Avances en la tecnología y herramientas digitales |
| Mejor planeación de contenido | |

La evaluación FODA en el Área de Marketing Digital de la Cámara de Comercio de Guasave, Sinaloa, posibilitó reconocer diferentes elementos que afectan su rendimiento. Entre sus principales fortalezas, se destacan la creación de contenido de calidad, la regularidad

en las publicaciones y el diseño atractivo del material distribuido. En lo que respecta a las oportunidades, se detectó el potencial para expandirse a otras redes sociales, el refuerzo de la interacción con la audiencia, la oportunidad de colaborar con socios y afiliados, además de la optimización en la planificación de contenidos. Sin embargo, también se identificaron debilidades, tales como la falta de actualización del sitio web, la resistencia al cambio en la organización, la escasez de información para la creación de publicaciones y la limitada visibilidad de las mismas. Finalmente, entre las amenazas más significativas se hallan la falta de interés del público, lo que incluye a los propios miembros de la Cámara, los cambios en las regulaciones de contenido y la rápida transformación de las herramientas digitales y de los avances tecnológicos, lo que requiere una adaptación continua para preservar la competitividad en el ámbito del *marketing* digital.

De acuerdo con Shankar et al. (2022), las redes sociales empleadas en los procesos organizacionales deben administrarse para cumplir con los objetivos, su medición es diferente de cualquier medio tradicional debido a su estructura de red social y a su naturaleza igualitaria, por lo tanto, requieren un enfoque de medición distinto. En esta primera etapa, con base en el diagnóstico, se establecieron indicadores clave de desempeño (KPI) que ayuden a evaluar la efectividad de las estrategias de mejora: nuevos seguidores, reacciones y comentarios de la página de Facebook. Para establecer la base del análisis, se refieren los datos de la semana cero (del 21 al 25 de octubre de 2024), donde hubo 35 nuevos seguidores, 389 reacciones y 151 comentarios (ver la Tabla 1); estos valores iniciales reflejaron un nivel bajo de interacción y alcance.

Tabla 1
Resultado del análisis inicial de los indicadores de la red social Facebook

| Aspecto | Semana 0 (21-25 de octubre de 2024) |
|-------------------|--|
| Nuevos seguidores | 35 |
| Reacciones | 389 |
| Comentarios | 151 |

Pérez Sarmiento et al. (2025) señalan que las empresas están invirtiendo cada vez más en *marketing* digital y, para que este proceso tenga éxito, es necesario que los especialistas en *marketing* entiendan cómo crear y distribuir de manera efectiva su contenido en las plataformas digitales para obtener los resultados deseados. En la etapa Hacer, tomando en consideración el análisis de la fase anterior, se desarrolló un plan de acción que incluye la elaboración de un calendario temático de publicaciones que abarca seis semanas (ver la Tabla 2). Este calendario se diseñó a partir de una lluvia de ideas, integración de fechas y categorización de contenidos (promocional, informativo, conmemorativo y dinámico), con el propósito de incrementar la frecuencia y el impacto de las publicaciones en redes sociales.

Tabla 2
Propuesta de calendario de programación de publicaciones

| Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes |
|---------------|--|--|------------------------------------|--|
| 30 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Frase del día | | Fotos sobre un evento | | Evento |
| 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Frase del día | Dinámica | Historia sobre un evento "Carnaval" | Día de la Salud Mental" | Nuevos socios |
| Nuevo socio | | | | |
| 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| Frase del día | Día Internacional de las Mujeres Rurales | Historia dinámica | Video sobre quiénes somos Canaco | Nuevos socios |
| | Fotos del carnaval | ¿Qué consejo le darías a un empresario principiante? | | Video sobre el cáncer de mama |
| 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
| Frase del día | "Afiliate: requisitos" | Historias | Día de las Naciones Unidas | Nuevos socios |
| | | ¿Cómo mantienes la motivación en tu equipo de trabajo? | | Tutorial sobre cómo afiliarse a Canaco |
| | | Post de "Nuestros Servicios" | | |
| 28 | 29 | 30 | 31 | 1 |
| Frase del día | Anuncio "Intercamaral Guasave" | Historias por una pregunta | Video sobre Halloween | Día de Muertos |
| Cumpleaños | | ¿Cuál es el mayor desafío que enfrentas como empresario? | Nuevo socio | Promoción del Buen Fin |
| | | | Promoción del Buen Fin | Cumpleaños |
| 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Frase del día | Cumpleaños | Módulo de atención a socios | Tutorial de como afiliarse al SIEM | Promoción de socios |
| Nuevo socio | Promoción de socios | | | Módulo de crédito FONACOT" |

Aunado a lo anterior, se implementó una estrategia de *benchmarking* digital comparativo entre la Cámara de Comercio de Guasave y otras cámaras nacionales (Canaco Monterrey, Guadalajara, Ciudad de México, Los Cabos, Tijuana y Culiacán). El análisis se realizó mediante una matriz de comparación (Tabla 3) que contemplo criterios de marketing digital tales como: diseño web e identidad visual, actualización de plataformas, frecuencia de publicación en redes sociales, tipo de contenido e interacción/impacto digital.

Tabla 3
Benchmarking de páginas y redes sociales de las cámaras consultadas

| Cámara de comercio | Página web | | | Redes sociales | | |
|--------------------|--|--|----------------------------|--|---------------------------------------|--|
| | Diseño y paleta de colores | Estructura y navegación | Actualización | Elementos interactivos | Frecuencia de publicación | Tipo de contenido |
| Monterrey | Diseño dinámico, transiciones profesionales. | Muy buena organización; secciones claras. | Alta, información vigente. | No se reportan elementos interactivos adicionales. | Alta frecuencia, constante. | Contenido de calidad, informativo y visualmente atractivo. |
| Guadalajara | Paleta distintiva, diseño moderno. | Estructura funcional y atractiva. | Alta. | Live chat en tiempo real. | Publicaciones constantes y regulares. | Contenido profesional y diverso. |
| Ciudad de México | Contrastes equilibrados; diseño formal. | Navegación clara y ordenada. | Alta. | No reportados. | Frecuencia constante. | Contenido de calidad. |
| Los Cabos | Diseño funcional pero poco atractivo visualmente. | Estructura básica y práctica. | Alta. | No reportados. | Alta frecuencia. | Información continua, centrada en actividades locales. |
| Tijuana | Estilo propio, similar a la mayoría excepto Guadalajara. | Secciones visibles y enfocadas en servicios. | Alta. | No reportados. | Frecuencia constante. | Contenido adecuado pero menos dinámico. |
| Culiacán | No disponible. | No disponible. | Nula. | No disponible. | Alta frecuencia. | Contenido de calidad. |

Los resultados evidencian que las Cámaras de Comercio de Monterrey y Guadalajara presentan un desempeño superior, caracterizado por una identidad visual sólida, estrategias de contenido constantes y altos niveles de interacción con su audiencia. En contraste, la Cámara de Comercio de Guasave muestra áreas de oportunidad relevantes, particularmente en la actualización del sitio web institucional y en el fortalecimiento del engagement digital. Derivado de esto, se elaboró una propuesta preliminar de rediseño del sitio web institucional (ver la Figura 3), considerando la observación cualitativa, las opiniones del equipo de trabajo y los hallazgos del *benchmarking*. Sin embargo, su implementación fue definitiva en la siguiente etapa, a partir de la validación empírica.

Figura 3

Diseño de propuesta para página web



En la etapa Verificar, se hizo seguimiento a los KPI definidos, recolectando información durante siete semanas tras la intervención. La Tabla 4 muestra el comportamiento semanal de los KPI del marketing digital, así como el promedio ponderado de cada indicador y su comparación con la línea base correspondiente a la semana 0 (Tabla 1).

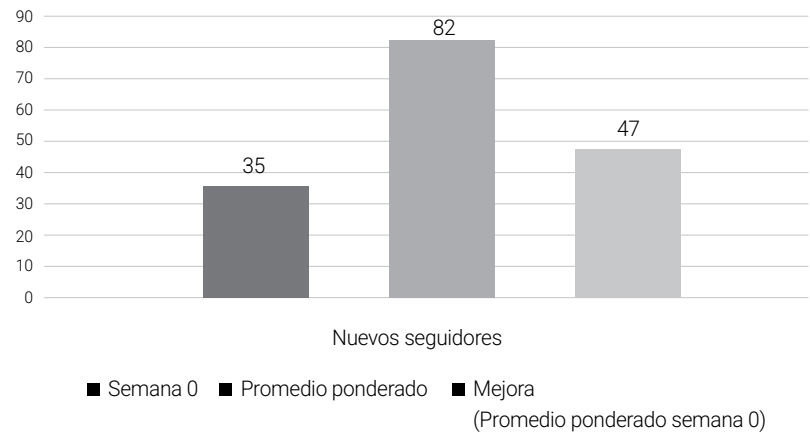
Tabla 4
Resultado del seguimiento de los indicadores de la red social Facebook

| Aspecto | Semana | | | | | | | Mejora (Promedio ponderado semana 0) |
|-------------------|---|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---|
| | 1 (28 de octubre 01 de noviembre 2024) | 2 (04-08 de noviembre 2024) | 3 (11-15 de noviembre 2024) | 4 (18-22 de noviembre 2024) | 5 (25-29 de noviembre 2024) | 6 (02-06 de diciembre 2024) | 7 (09-13 de diciembre 2024) | |
| Nuevos seguidores | 54 | 62 | 85 | 83 | 86 | 84 | 85 | 47 |
| Reacciones | 380 | 295 | 320 | 364 | 419 | 375 | 412 | -10 |
| Comentarios | 180 | 211 | 149 | 175 | 249 | 276 | 268 | 82 |

Como complemento, se empleó el *software Microsoft Excel* para la representación gráfica de los resultados, lo que permitió visualizar de manera clara el comportamiento de los indicadores analizados y facilitar su interpretación (ver las Figuras 4-6).

Figura 4

Gráfica KPI de nuevos seguidores en Facebook

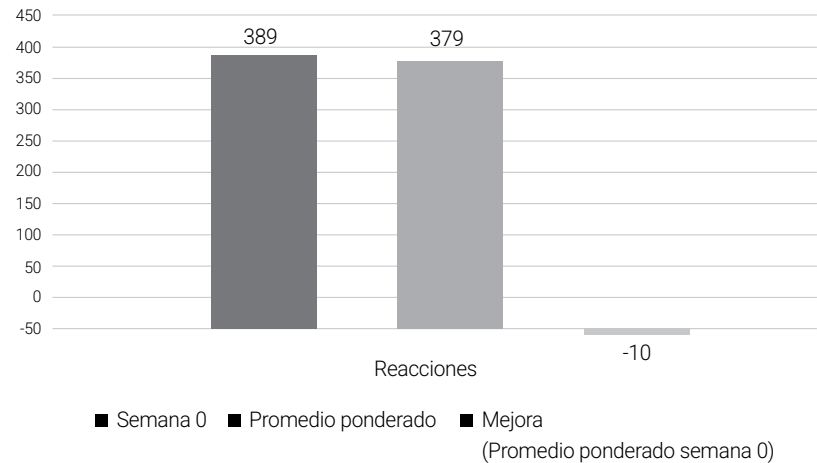


Los resultados de la Figura 4, evidencian que el indicador nuevos seguidores presentó un incremento promedio ponderado de 47, lo que refleja un crecimiento sostenido de la audiencia digital de la Cámara de Comercio. Este comportamiento indica que las acciones implementadas —como la calendarización estratégica de contenidos y la diversificación temática— favorecieron la atracción constante de nuevos usuarios.

En cuanto al indicador reacciones (véase Figura 5), se identificó una variación promedio ponderada de -10 respecto a la semana 0. Este resultado no necesariamente refleja una disminución del impacto del contenido, ya que las reacciones constituyen una forma de interacción rápida y de bajo esfuerzo cognitivo, considerada como un indicador de participación superficial. Diversos estudios señalan que, estrategias orientadas al fortalecimiento del engagement, es común observar fluctuaciones o incluso descensos en este tipo de métricas, cuando los usuarios migran hacia formas de interacción más activas y reflexivas, como los comentarios (Cvijikj & Michahelles, 2013; Dessart et al., 2015; Shankar et al., 2022).

Figura 5

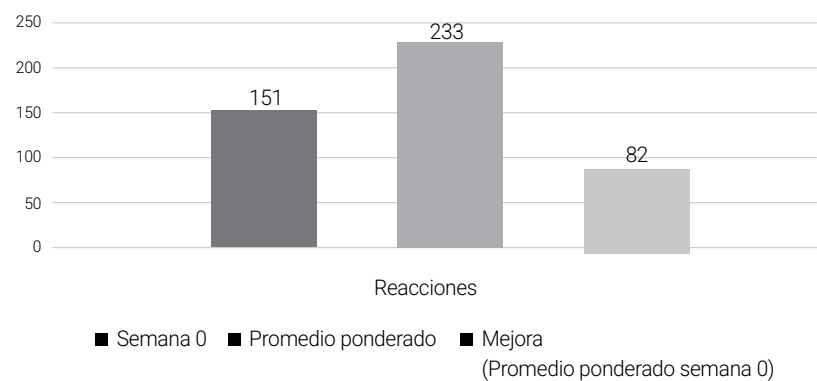
Gráfica KPI de reacciones en Facebook



En la Figura 6, se presenta el caso de indicador comentarios, donde se observó una mejora promedio ponderada de 82, lo cual evidencia un aumento significativo en la interacción activa del público. Este resultado es especialmente relevante, ya que los comentarios representan una forma de participación más profunda y reflexiva, asociada con niveles superiores de compromiso o engagement, al implicar mayor esfuerzo cognitivo y una interacción bidireccional entre la organización y los usuarios (Cvijikj & Michahelles, 2013; Dessart et al., 2015; Shankar et al., 2022).

Figura 6

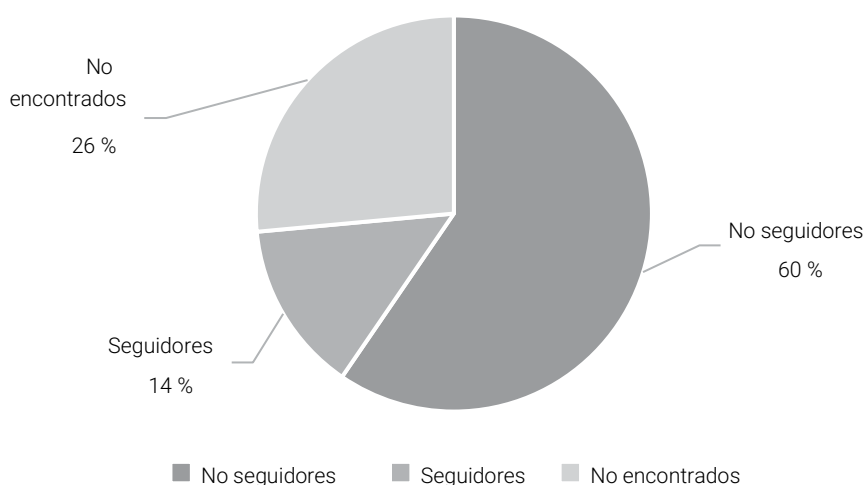
Gráfica de KPI de comentarios en Facebook



Aunado a esto, se realizó un cruce de información entre la lista de socios activos y su vinculación en redes sociales. Con ello se identificó que el 14 % son seguidores activos y el 60 % no son seguidores de la página de Facebook. Esta situación valida la necesidad del rediseño de la página web como estrategia de fortalecimiento de la presencia digital institucional y que llevará a mejorar la vinculación con los socios (ver la Figura 7), así como lo señalan Montesinos González et al. (2020) sobre la utilización de evidencias empíricas para fundamentar decisiones de mejora en la etapa de verificación del ciclo PHVA.

Figura 7

Presencia de socios en redes



Finalmente, en la fase Actuar, y con base en los resultados obtenidos, se documentaron las mejoras alcanzadas y se formularon propuestas para institucionalizar el proceso de *marketing* electrónico. Entre estas estrategias de mejora se pueden mencionar: mantener una calendarización estratégica, establecer políticas de actualización continua del sitio web, dar seguimiento a los KPI y ampliar la presencia digital a otras plataformas de red social, como Instagram o WhatsApp Business.

El rediseño de los contenidos y del sitio web institucional fue consolidado en un nuevo prototipo desarrollado con base en aportaciones del equipo interno y los hallazgos del *benchmarking* (ver las Figuras 8 y 9). Estas acciones, como lo describen Vázquez Cid de León et al. (2023), requieren ser auditables y alinearse con una lógica de mejora continua fundamentada por datos verificables.

Figura 8

Rediseño de propuesta para contenido



Figura 9

Diseño final de propuesta para la página web



En conjunto, la implementación estructurada del ciclo PHVA ha permitido abordar el problema de forma progresiva y metodológicamente sólida, que genera un cambio positivo en la gestión del *marketing* digital en la Cámara de Comercio de Guasave.

DISCUSIÓN

La función de *marketing* es un importante proceso en las empresas actuales. Al respecto, Ahumada Luyando et al. (2023) indican que el *marketing* digital resulta un componente vital para las empresas, un elemento diferenciador que requiere constante transformación e innovación. Paendong et al. (2023) lo describen como un elemento importante para la penetración de productos de la provincia de Sulawesi del Norte, Indonesia, en un ambiente pospandémico. El *marketing* digital debe ser flexible y según Correia et al. (2021) debe responder a las demandas de sus seguidores, a los cambios en su entorno y a las tendencias del mercado objetivo; para ello requiere la aplicación de metodologías de mejora continua, como el ciclo de Deming.

En este estudio, la aplicación del ciclo PHVA en el Área de Marketing Digital de la Cámara de Comercio de Guasave, Sinaloa, mostró resultados congruentes con los fundamentos teóricos que sustentan la mejora continua en los procesos organizacionales. Tal como lo destacan autores como Deming (1989, como se cita en Montesinos et al., 2020), el enfoque sistemático del ciclo permite identificar fallas, implementar soluciones y evaluar su impacto de manera estructurada. En esta investigación, la aplicación estructurada del ciclo permitió transitar de un diagnóstico inicial de baja presencia digital hacia un escenario de mejora medible en indicadores clave de desempeño.

El análisis cuantitativo de los datos mediante la comparación del promedio ponderado de las siete semanas posteriores a la intervención con la línea base correspondiente a la semana 0, resulta metodológicamente correcta en contextos organizacionales con periodos de observación cortos y con alta variabilidad en los datos, ya que evita la sobreestimación de resultados derivada de picos atípicos y proporciona una visión más conservadora y estable del desempeño (Hyndman y Athanasopoulos, 2021). Los resultados obtenidos, evidenciaron mejoras sostenidas en los indicadores de nuevos seguidores y comentarios, este comportamiento es congruente con lo reportado por Shankar et al. (2022), quienes señalan que una estrategia de marketing digital bien estructurada tiende a generar mayor engagement conductual cuando prioriza contenidos relevantes y consistentes.

Por otro lado, el indicador reacciones presentó una variación negativa moderada cuando se comparó el promedio ponderado con la semana 0, este resultado no debe interpretarse como una disminución del impacto del marketing digital, literatura especializada advierte que métricas como las reacciones o likes representan niveles básicos de engagement y pueden fluctuar cuando los usuarios optan por interacciones

más complejas, como los comentarios (Shankar et al., 2022; Dessart et al., 2015). De acuerdo con Rangaswamy et al. (2020), esto se traduce en un mayor reconocimiento de las empresas afiliadas, aumento en interacciones entre socios que podrían generar vínculos comerciales estratégicos, mejor posicionamiento digital de las marcas y, en consecuencia, mayor captación de clientes.

El análisis FODA aplicado durante la etapa de planificación permitió identificar con claridad los factores internos y externos que influían en la baja presencia digital, y diseñar estrategias con base en evidencias. Esta práctica se alinea con los postulados de Sahoo y Yadav (2020), quienes afirman que una correcta clasificación de las actividades estratégicas fortalece la ventaja competitiva de las organizaciones.

Los resultados obtenidos también guardan relación con experiencias documentadas en otros contextos. Por ejemplo, estudios como el de Pérez Laguna y Delgado Cortés (2024) describen la utilidad de la aplicación del ciclo de Deming en el diseño del modelo bajo la Norma Técnica Colombiana 6001 y su impacto en la mejora de la productividad de empresas del sector forestal, lo que deriva en mejoras significativas en productividad y calidad del servicio prestado por las organizaciones de este giro. Esto refuerza la versatilidad de la metodología y su aplicabilidad en distintos ámbitos empresariales.

CONCLUSIONES

La presente investigación demuestra que la aplicación del ciclo de mejora continua, particularmente el modelo PHVA propuesto por Deming, representa una herramienta estratégica efectiva para fortalecer las actividades de *marketing* digital en organismos empresariales, como la Cámara de Comercio de Guasave, Sinaloa. A través de su implementación estructurada, se logró identificar el problema de la limitada presencia digital, establecer soluciones específicas, ejecutarlas y evaluar sus resultados de forma cuantificable.

La metodología Deming permitió realizar un rediseño de los procesos clave, como la planificación de contenidos y la reactivación del sitio web, lo que conllevó el logro de mejoras visibles en los KPI, como el incremento promedio de 47 nuevos seguidores y 82 comentarios, lo que evidencia una mayor visibilidad institucional y un aumento significativo en la interacción directa del público con los contenidos publicados. Si bien el indicador de reacciones presentó una variación negativa de -10, este resultado se interpreta como una redistribución del tipo de interacción, privilegiando la participación activa del público sobre respuestas pasivas, lo cual refuerza el objetivo estratégico de fortalecer el engagement digital y no únicamente la exposición del contenido.

Este estudio reafirma que el ciclo de Deming contribuye a la mejora en los procesos industriales, además de ser eficaz en aspectos estratégicos como el *marketing* digital, donde la mejora continua es fundamental para mantenerse vigente, ser una organización

competitiva y permanecer conectada con el público objetivo. El caso de la Cámara de Comercio de Guasave evidencia que las herramientas de mejora continua pueden y deben aplicarse en la gestión institucional para potenciar su impacto y sostenibilidad en el entorno digital.

Las limitaciones y posibles sesgos del estudio que deben considerarse al interpretar los resultados son, en primer lugar, el número de entrevistas se restringió a informantes claves internos, lo que puede introducir un sesgo de percepción institucional, al provenir de personal directamente relacionado con los procesos analizados. No obstante, esta limitación se mitigó mediante la triangulación con observación directa, análisis documental y métricas digitales objetivas.

Una segunda limitación relevante está relacionada con el acceso a la información institucional. La información proporcionada por la Cámara de Comercio de Guasave en algunos casos no se encontraba sistematizada, lo que restringió un análisis más profundo de los procesos internos y decisiones estratégicas vinculadas al marketing digital.

Asimismo, una limitación operativa de carácter estructural fue que la Cámara de Guasave no cuenta con autonomía para realizar actualizaciones directas en su sitio web institucional, dado que dichas modificaciones deben ser autorizadas y ejecutadas a nivel nacional. Esta situación condiciona el alcance de las acciones de mejora, limitando la intervención directa sobre la plataforma web y enfocando estrategias principalmente en redes sociales y propuestas de rediseño conceptual.

En relacion al benchmarking digital, éste se realizó a partir de un análisis cualitativo comparativo de plataformas públicas, por lo que los resultados no pretenden establecer relaciones causales, sino identificar buenas prácticas replicables.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

Xóchitl Patricia Flores Gutiérrez: conceptualización, análisis formal, adquisición de fondos, investigación, metodología, administración de proyecto, recursos, visualización, escritura: borrador original, redacción: revisión y edición. **José Antonio Sandoval Acosta:** análisis formal, adquisición de fondos, investigación, *software*, visualización, escritura: borrador original. **Mara del Rosario López Rodríguez:** análisis formal, adquisición de fondos, supervisión, validación, visualización, escritura: borrador original, redacción: revisión y edición. **Dayra Flores Zavala:** *data curation*, investigación, metodología, visualización, escritura: borrador original.

REFERENCIAS

- Ahumada Luyando, S., Liberos Hoppe, E., Miranda Villalón, J. A., Núñez Quevedo, Á., & Prieto Valentín, S. (2023). *Consumer engagement. Fidelizar clientes en el entorno digital*. ESIC.
- Åkerblad, L., Seppänen-Järvelä, R., & Haapakoski, K. (2020). Integrative strategies in mixed methods research. *Journal of Mixed Methods Research*, 15(2), 152-170. <https://doi.org/10.1177/1558689820957125>
- Botelho Pires, P., Duarte Santos, J., & Veiga Pereira, I. (2024). *Digital marketing. Analyzing its transversal impact*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003384960>
- Byrne, B., McDermott, O., & Noonan, J. (2021). Applying Lean Six Sigma methodology to a pharmaceutical manufacturing facility: A case study. *Processes*, 9(3), 550. <https://doi.org/10.3390/pr9030550>
- Canaco Servytur Guasave. (2022). *Canaco Servytur Guasave*. Concanaco Digital. Recuperado el 16 de octubre del 2024, de <https://concanaco.digital/canacoguasave/>
- Correia, R. J., Dias, J. G., & Teixeira, M. S. (2021). Dynamic capabilities and competitive advantages as mediator variables between market orientation and business performance. *Journal of Strategy and Management*, 14(2), 187-206. <https://doi.org/10.1108/JSMA-12-2019-0223>
- Chan, D. W. M., Sarvari, H., Golestanizadeh, M., & Saka, A. (2023). Evaluating the impact of organizational learning on organizational performance through organizational innovation as a mediating variable: evidence from Iranian construction companies. *International Journal of Construction Management*, 24(9), 921-934. <http://dx.doi.org/10.1080/15623599.2023.2239486>
- Chen, Y., Zheng, J., Wu, D., Zhang, Y., & Lin, Y. (2020). Application of the PDCA cycle for standardized nursing management in a COVID-19 intensive care unit. *Annals of Palliative Medicine*, 9(3), 1198-1205. <https://doi.org/10.21037/apm-20-1084>
- Cvijikj, I. P., & Michahelles, F. (2013). Online engagement factors on Facebook brand pages. *Social Network Analysis and Mining*, 3(4), 843-861. <https://doi.org/10.1007/s13278-013-0098-8>
- Dessart, L., Veloutsou, C., & Morgan-Thomas, A. (2015). Consumer engagement in online brand communities: A social media perspective. *Journal of Service Research*, 18(1), 28-42. <https://doi.org/10.1177/1094670514529187>
- Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2021). *Forecasting: Principles and practice* (3rd ed.). OTexts. <https://otexts.com/fpp3/>

- Ibañez Rodríguez, G. A. (2024). Incremento del net promoter score a través de la gestión por procesos: estudio de caso en el retail de uniformes médicos. *Ingeniería Industrial*, (46), 177-203. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2024.n046.6916>
- Lobo, S., Samaranayake, P., & Matawie, K. M. (2022). A national framework for promoting business excellence (NFPBE). *Benchmarking: An International Journal*, 29(9), 2952- 2984. <https://doi.org/10.1108/bij-04-2021-0231>
- Matović, N., & Ovesni, K. (2023). Interaction of quantitative and qualitative methodology in mixed methods research: integration and/or combination. *International Journal of Social Research Methodology*, 26(1), 51-65. <https://doi.org/10.1080/13645579.2021.1964857>
- Montesinos González, S., Vázquez Cid de León, C., Maya Espinoza, I., & Gracida Gracida, E. B. (2020). Mejora Continua en una empresa en México: estudio desde el ciclo Deming. *Revista Venezolana de Gerencia*, 25(92), 1863-1883. <https://doi.org/10.37960/rvg.v25i92.34301>
- Moyano-Hernández, F. A., & Villamil Sandoval, D. C. (2021). Análisis del ciclo PHVA en la gestión de proyectos, una revisión documental. *Revista Politécnica*, 17(34), 55-69. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v17n34a4>
- Mundo Startuper. (2023, 23 de abril). *La cámara de comercio y su importancia en el sector terciario de México*. <https://mundostartupero.com/la-camara-de-comercio-y-su-importancia-en-el-sector-terciario-de-mexico/>
- Pandey, N., Nayal, P., & Rathore, A. S. (2020). Digital marketing for B2B organizations: structured literature review and future research directions. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 35(7), 1191-1204. <https://doi.org/10.1108/jbim-06-2019-0283>
- Paendong, M., Rambing, P., Simanjuntak, C., Kumaat, A., Marentek, M., & Mandey, N. (2023). Digital Marketing Ecosystem Perspective of Regional Featured Product in North Sulawesi Province, Indonesia. *Open Journal of Social Sciences*, 11(2), 1-17. <https://doi.org/10.4236/jss.2023.112001>
- Pérez Laguna, F., & Delgado Cortés, A. (2024). Diseño de modelo bajo la norma técnica colombiana 6001 para mejorar la competitividad de las empresas del sector forestal del municipio de Ibagué basado en el ciclo Deming. En B. R. Hernández-Sánchez, G. M. Cardella, & J. C. Sánchez-García (Eds.), *Organizaciones, recursos humanos y ecosistemas de emprendimiento* (pp. 277-285). Dykinson, S. L. <https://doi.org/10.2307/jj.17381625.35>
- Pérez Sarmiento, M. B., Cardoso Landívar, S. V., & Ugalde, C. (2025). Compromiso del cliente en las plataformas comerciales digitales: Un análisis de factores clave. *Revista de Ciencias Sociales y Económicas*, 9(1), 24-36. <https://doi.org/10.18779/ csye.v9i1.752>

- Rajagopalan, J. (2021). Impact of adopting a PDCA methodology on performance of companies – experience from companies in India. *Measuring Business Excellence*, 25(2), 189-215. <https://doi.org/10.1108/mbe-11-2019-0110>
- Ramírez, R. I., Alemán, L. S., Herrera, B. A., & Antequera, R. R. (2022). Dimensiones de la responsabilidad social corporativa: análisis en las cámaras de comercio. *Información Tecnológica*, 33(4), 93-100. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000400093>
- Rangaswamy, A., Moch, N., Felten, C., Van Bruggen, G., Wieringa, J. E., & Wirtz, J. (2020). The role of marketing in digital business platforms. *Journal of Interactive Marketing*, 51(1), 72-90. <https://doi.org/10.1016/j.intmar.2020.04.006>
- Sahoo, S., & Yadav, S. (2020). An empirical examination of manufacturing improvement practices on performance of Indian manufacturing firms. *Materials Today: Proceedings*, 26, 235-239. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.057>
- Sánchez García, A., Sánchez Díaz, B., & Pedroza Mendiola, K. Y. (2024). Implementación del ciclo Deming en el área del troquel para reducir el desperdicio de material en una empresa de troquelación. *South Florida Journal of Development*, 5(7), e4104. <https://doi.org/10.46932/sfjdv5n7-010>
- Setkute, J., & Dibb, S. (2022). "Old boys' club": Barriers to digital marketing in small B2B firms. *Industrial Marketing Management*, 102, 266-279. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2022.01.022>
- Shankar, V., Grewal, D., Sunder, S., Fossen, B., Peters, K., & Agarwal, A. (2022). Digital marketing communication in global marketplaces: A review of extant research, future directions, and potential approaches. *International Journal of Research in Marketing*, 39(2), 541-565. <https://doi.org/10.1016/j.ijresmar.2021.09.005>
- Vázquez Cid de León, C., Alcántara Sánchez, A. N., & Montesinos González, S. (2023). Caracterización de la norma ISO 9001:2015 a través de la mejora continua para su implementación en organizaciones con inteligencia artificial. *Ingeniería Industrial*, (45), 109-129. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2023.n45.6627>
- Yin, R. K. (2018). Case study research and applications: Design and methods (6th ed.). Sage Publications.

ANEXOS.

ANEXO A.

ENTREVISTA SEMIESTRUCTURADA

Objetivo general

Obtener información estratégica sobre el estado actual del área de marketing, su funcionamiento, oportunidades externas, limitaciones internas y percepción directiva respecto a los procesos de comunicación y posicionamiento de la empresa.

ENTREVISTA 1

SECCIÓN A. DATOS GENERALES DEL ENTREVISTADO

Nombre del puesto: Presidencia de CANACO Servytur

Antigüedad en la empresa: 2 años

Principales funciones: Ser la cara visible de la CANACO, presidir reuniones, y representar a los empresarios ante autoridades locales y estatales. Definir la dirección y objetivos de la cámara para el beneficio del sector. Defender los intereses de los socios, negociar con el gobierno y promover políticas favorables.

SECCIÓN B. ENTREVISTA PRESIDENTE

1. ¿Cómo evalúa la calidad del contenido que se genera en el área de marketing?
La calidad del contenido suele ser buena; el equipo tiene habilidades creativas y maneja bien la imagen institucional. Considero que se podría mejorar en la actualización de información y en hacer más atractivo el mensaje para llegar a más público.
2. ¿Qué tan frecuente considera que deben realizarse las publicaciones institucionales?
Idealmente deberían ser constantes. Actualmente veo que sí se publica, pero falta una planeación más estratégica para mantener el interés del público.
3. Desde su perspectiva, ¿cuáles son las principales fortalezas del área?
Tienen buena disposición para trabajar, diseñan contenido de calidad y se ajustan al público objetivo. Además, se esfuerzan por priorizar las necesidades del cliente y responder rápido.

4. ¿Ha identificado alguna debilidad en el área de marketing?
Sí, noto que hay poca disponibilidad de información interna para generar publicaciones. También percibo cierta resistencia al cambio cuando se proponen nuevas herramientas digitales.
5. ¿Qué oportunidades externas ve para potenciar el marketing de la empresa?
Expandirnos a redes donde actualmente no tenemos presencia y establecer colaboraciones con socios estratégicos serían pasos importantes. Además, podemos invertir en publicidad pagada.
6. ¿Qué amenazas considera que afectan más al área de marketing?
La competencia es fuerte y está muy activa en redes. También nos afecta el desinterés del público cuando no logramos captar su atención y los cambios frecuentes en las normas de contenido digital.

ENTREVISTA 2

SECCIÓN A. DATOS GENERALES DEL ENTREVISTADO

Nombre del puesto: Dirección General de CANACO Servytur

Antigüedad en la empresa: 5 años

Principales funciones: Gestionar las operaciones diarias, el personal y los recursos de la cámara. Poner en marcha los planes y programas definidos por el consejo y el presidente. Asegurar que se brinden eficazmente los servicios de asesoría, capacitación y apoyo.

SECCIÓN B. ENTREVISTA DIRECTORA

1. ¿Cómo percibe la interacción entre marketing y otras áreas de la empresa?
En general es positiva, aunque a veces existe falta de información para proporcionar contenido relevante. Esto provoca retrasos en las publicaciones.
2. ¿Qué aspectos considera que se deben mejorar dentro del área?
Creo que debemos actualizar urgentemente el sitio web, ya que está desactualizado y genera una mala impresión externa. También necesitamos una planeación más clara y medible.
3. ¿Considera que la empresa presenta fortalezas en su estrategia digital?
Sí. Se genera contenido atractivo y con buena frecuencia. Además, la prioridad al cliente se manifiesta incluso en las publicaciones.
4. ¿Qué debilidades identifica en la estrategia actual?

La visibilidad de las publicaciones es baja. En ocasiones, el contenido no llega a la audiencia adecuada. Además, el equipo no siempre adopta nuevas tecnologías con rapidez.

5. ¿Qué oportunidades externas podrían aprovecharse? Implementar campañas en redes adicionales y aprovechar la publicidad segmentada. También podríamos tener mayor interacción mediante transmisiones en vivo o contenido más dinámico.
6. ¿A qué amenazas externas considera que se enfrenta la empresa? La competencia está creciendo y mucha ya utiliza tecnologías avanzadas. También nos impactan los cambios constantes en las políticas de las plataformas digitales.

ENTREVISTA 3

SECCIÓN A. DATOS GENERALES DEL ENTREVISTADO

Nombre del puesto: Marketing de CANACO Servytur

Antigüedad en la empresa: 5 años

Principales funciones: Dar a conocer los servicios y beneficios de la CANACO a los empresarios y al público general. Gestionar redes sociales, boletines, eventos y relaciones públicas. Fortalecer la imagen de la CANACO como líder y apoyo del sector empresarial en la región.

SECCIÓN B. ENTREVISTA ENCARGADA DE MARKETING

Entrevista 3 – Responsable del Área de Marketing

Preguntas y respuestas simuladas

1. ¿Cómo describiría el proceso de creación de contenido en la empresa? Trabajamos con base en solicitudes internas, aunque a veces la información no llega completa o a tiempo. Aun así, buscamos mantener calidad y diseño en todas las publicaciones.
2. ¿Cuáles considera que son las fortalezas del área? Somos creativos, publicamos de forma constante y adaptamos el contenido al estilo institucional. También damos prioridad al cliente en todas nuestras comunicaciones.

3. ¿Qué aspectos considera que son áreas de oportunidad dentro del área?
Necesitamos más información de las áreas operativas y actualizaciones frecuentes de los servicios. También sería útil capacitar al equipo en herramientas digitales emergentes.
4. ¿Qué necesidades tecnológicas identifica actualmente?
Una renovación del sitio web y acceso a herramientas de análisis de datos para medir el alcance real de las publicaciones.
5. ¿Qué oportunidades externas observa para potenciar la marca?
Explorar nuevas redes sociales y utilizar publicidad pagada para ampliar el alcance. También podemos colaborar con socios estratégicos para crear contenido conjunto.
6. ¿Qué amenazas externas afectan su labor?
La saturación de contenido digital, la competencia activa y los cambios constantes en algoritmos y normas de publicación. A veces el público pierde interés rápidamente.

MODELO DE GESTIÓN PARA REDUCIR LOS COSTOS DE LA NO CALIDAD CON LA METODOLOGÍA *LEAN SIX SIGMA* EN CONVERTIDORAS DE PAPEL TISÚ

DANIEL ALBERTO CHIRINOS MAGALLANES*

<https://orcid.org/0009-0007-6811-4046> Facultad de Ingeniería Industrial, Unidad de posgrado Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú

JORGE ENRIQUE ORTIZ PORRAS

<https://orcid.org/0000-0002-9657-0408> Facultad de Ingeniería Industrial, Unidad de posgrado Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú

RONALD DAVID CHIRINOS MAGALLANES

<https://orcid.org/0009-0005-5079-6101> Facultad de Ingeniería Industrial, Unidad de posgrado Universidad Nacional del Callao, Perú

ISRAEL ROMÁN VÁSQUEZ CERQUERA

<https://orcid.org/0009-0006-2142-6459> Facultad de Ingeniería Química, Unidad de posgrado Universidad Nacional de Trujillo, Perú

Recibido: 15 de mayo del 2025 / Aceptado: 29 de junio del 2025

Publicado: 19 de diciembre del 2025

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2025.n049.7923>

RESUMEN. Se analiza el impacto de los costos de la no calidad generados por una gestión deficiente del cumplimiento de estándares de calidad. El objetivo es reducir dichos costos y determinar la influencia de un modelo de gestión basado en la metodología *lean six sigma*.

Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

* Autor corresponsal

Correos electrónicos en orden de aparición: danielchirinos2602@gmail.com; jortizpo@unmsm.edu.pe; ronaldxp17@gmail.com; israel.rvc@gmail.com

Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution 4.0 international (CC BY 4.0).

Se seleccionó la línea convertidora más moderna en tecnología y con mayor capacidad de producción como unidad de análisis, aplicando las fases del ciclo DMAIC: definir, medir, analizar, mejorar y controlar. Como resultado, se redujo el costo de la no calidad en un 40 %, equivalente a S/. 901 236; el indicador de productos defectuosos disminuyó de 3,58 % a 2,11 % y el nivel sigma incrementó de 3,38 a 4,24. La limitación ha consistido en la imposibilidad de divulgar los costos de forma desglosada, dada la confidencialidad; sin embargo, los hallazgos presentan implicancias prácticas para otras industrias que buscan reducir sus costos de la no calidad mediante este tipo de metodologías.

PALABRAS CLAVE: producción eficiente / control de calidad / costos de producción / normalización / análisis de fallos / *lean six sigma*

MANAGEMENT MODEL TO REDUCE THE COSTS OF NON-QUALITY WITH THE LEAN SIX SIGMA METHODOLOGY IN TISSUE PAPER CONVERTERS.

ABSTRACT. The impact of non-quality costs generated by poor management of quality standards compliance is analysed. The objective is to determine the influence of a management model based on the Lean Six Sigma methodology in reducing these costs. The most modern converter line in technology and with a higher production capacity was selected as the unit of analysis, applying the phases of the DMAIC cycle: define, measure, analyse, improve and control. As a result, the cost of non-quality was reduced by 40 % equivalent to S/.901 236; the indicator of defective products decreased from 3,58 % to 2,11 % and the sigma level increased from 3,38 to 4,24. The limitation was disclosure of costs broken down by confidentiality; however, the findings have practical implications for other industries seeking to reduce their non-quality costs through Lean Methodologies.

KEYWORDS: lean manufacturing / quality control / industrial costs / standardization / failure analysis / *lean six sigma*

INTRODUCCIÓN

La industria papelera de productos tisú en todo el mundo ha desempeñado un rol clave en la economía, destacándose por su relevancia en la cadena de abastecimiento y la creciente demanda, las variables más valoradas por los consumidores son la suavidad, la resistencia y la absorción los cuales son claves para el desarrollo de este sector (Morais & Curto, 2022). En la actualidad, este sector enfrenta un entorno dinámico y desafiante, caracterizado por una serie de tendencias y factores que están influyendo en su evolución; estos factores incluyen el crecimiento exponencial de la demanda a una tasa promedio del 6 % entre los años 2022 al 2026 (Statista, 2020). Los productos que pertenecen a este sector son parte esencial de la canasta familiar, especialmente el papel higiénico, por lo que a medida que la población y los ingresos económicos de las personas aumenten, también lo hará su demanda (Ortiz & Ruiz, 2023). En un entorno competitivo, las empresas del sector manufacturero enfrentan la necesidad de mejorar simultáneamente la calidad del producto y el desempeño de sus procesos productivos. En este contexto, Kulkarni et al. (2023) evidencian que la implementación de enfoques sistemáticos de control y mejora de la calidad permite reducir la variabilidad del proceso y mejorar los indicadores claves de desempeño, lo que contribuye al cumplimiento de los requisitos del cliente y al fortalecimiento de la competitividad organizacional.

El objetivo primordial de esta investigación es desarrollar un modelo de gestión fundamentado en los principios de la metodología *lean six sigma*, con el fin de reducir el costo de la no calidad en las industrias del sector papelerero. La hipótesis consiste en demostrar que la implementación de esta metodología reduce efectivamente el costo de la no calidad. La aparición de nuevos competidores en el mercado nacional, con precios competitivos, características superiores y productos de mayor calidad justifica la investigación. Los registros de producción de la empresa en el año 2023 muestran un aumento del 128 % en productos defectuosos, en comparación con el año 2022. Esto se debe a la instalación de una nueva tecnología en una línea convertidora, lo que repercutió en el aumento del 189 % en el costo de la no calidad. Para reducir la cantidad de productos defectuosos es necesario revisar los principales atributos de calidad de la empresa e identificar defectos recurrentes en el proceso.

Lean six sigma es una metodología que combina la eficiencia operativa de *lean* con el rigor analítico de *six sigma*, integra herramientas estadísticas y se estructura en cinco fases: definir, medir, analizar, mejorar y controlar; la implementación genera múltiples beneficios como por ejemplo reducción de costos, reducción de errores o defectos, mejora de la calidad del producto o servicio, reducción de procesos que no agregan valor, mejora del tiempo de ciclo, incremento de la satisfacción del cliente y mejora la cultura organizacional enfocado en la mejora continua (Pongboonchai-Empl et al., 2023). Esta metodología ha sido aplicada en diversos sectores, ha obtenido resultados favorables y ha generado una transformación en la cultura organizacional de las empresas que la han adoptado. La creciente digitalización de los procesos industriales y la generación masiva de datos han

planteado nuevos desafíos para la implementación tradicional de Lean Six Sigma, debido a ello la integración de Big Data Analytics con la metodología Lean Six Sigma fortalece la preparación tecnológica de las organizaciones y mejora la identificación y el análisis de problemas críticos. Esta integración habilita el control de calidad en tiempo real, la inspección basada en eventos y el mantenimiento predictivo, superando los enfoques reactivos convencionales y contribuyendo a un mejor rendimiento del proceso y desempeño en entornos industriales altamente automatizados. (Belhadi et al., 2021).

La limitación en el presente estudio es que no es posible mostrar el desglose detallado del costo de la no calidad, debido a que se trata de información confidencial del área financiera de la empresa.

A continuación, algunos aspectos claves que permitirán comprender los enfoques metodológicos utilizados en el estudio y su impacto en la gestión de la calidad en los procesos industriales.

La evolución de los sistemas de Gestión de la Calidad ha implicado un cambio sustantivo desde un enfoque técnico centrado en el control del producto hacia un enfoque estratégico que concibe la calidad como un eje del sistema directivo. Este enfoque reconoce la necesidad de integrar simultáneamente la eficiencia interna de los procesos y la satisfacción del cliente, evitando que la mejora operativa se realice a costa del desempeño del producto. Bajo esta perspectiva, la calidad se define como un concepto multidimensional y dinámico, capaz de responder a la evolución de las expectativas de los distintos grupos de interés, lo que exige sistemas de gestión basados en datos, estandarización de procesos y control sistemático de la variabilidad para sostener resultados medibles en el tiempo (Camisón et al., 2006, p. 83). En un estudio empírico aplicado a empresas peruanas con sistemas formales de gestión de la calidad, se evidenció que dichas organizaciones presentan mejores resultados en factores como el compromiso de la alta dirección, la planificación de la calidad y en el control y mejora de procesos; sin embargo, también se identificaron brechas significativas en la aplicación efectiva de herramientas estadísticas y en la operatividad de los círculos de calidad, incluso en empresas certificadas. (Benzaquen & Avolio, 2020). Estos resultados confirman que la adopción de sistemas de calidad, por sí sola, no garantiza la reducción de la variabilidad ni la mejora continua del desempeño, lo que refuerza la necesidad de enfoques estructurados y basados en datos, como Lean Six Sigma, para consolidar resultados operativos sostenibles.

Los costos de la no calidad son costos por fallos internos cuando los resultados del trabajo no cumplen las normas de calidad previstas y se descubren antes de la entrega al cliente; estos se eliminarían si el producto cumple con las especificaciones (Chopra & Garg, 2011, como se citó en Alsada & Kumar, 2022).

La aplicación estructurada de la metodología DMAIC constituye un enfoque eficaz para la mejora de la calidad y la reducción de los costos de la no calidad asociados a defectos y reprocesos. Pérez-Domínguez et al. (2020), en una investigación aplicada a una empresa de

productos médicos, demuestran que el uso sistemático de herramientas estadísticas dentro del ciclo DMAIC permitió identificar causas raíz críticas del proceso, reducir el principal defecto del 70,7 % al 9,3 % y disminuir los costos, retrabajos y tiempos de entrega hasta en un 60 %, mediante el control de la variabilidad y la estandarización del proceso productivo.

La evidencia empírica demuestra que los productos defectuosos y las fallas de desempeño tienen un impacto significativo en procesos productivos específicos, particularmente en aquellos caracterizados con alta variabilidad operativa. En la industria de fabricación de equipajes, Lestari et al. (2021) reportaron tasas iniciales de defectos superiores al 10 % en distintos periodos productivos, alcanzando valores cercanos al 17 %, lo que generó pérdidas económicas relevantes y motivó la aplicación de Lean Six Sigma como estrategia de mejora. De manera similar, en procesos de inyección de plásticos, Hsiao et al. (2023) identificaron tasas iniciales de defectos por deformación de hasta 7,7 % en carcasas de baterías, las cuales se redujeron a niveles inferiores al 3 % mediante la aplicación de la metodología Six Sigma y el control de parámetros críticos como la velocidad de inyección y el tiempo de enfriamiento.

En los procesos de producción, el enfoque DMAIC asociado a la metodología Lean Six Sigma, ha demostrado su efectividad en la mejora del desempeño operativo. En una empresa del sector textil, Guimarey et al. (2021) aplicaron la metodología DMAIC en el área de corte, identificada como el proceso crítico debido a la generación de productos defectuosos y desperdicios de materia prima, logrando incrementar la productividad de la mano de obra de 1,93 a 2,17 unidades por hora-hombre y de 452 a 509 unidades por operario. Asimismo, la productividad de la materia prima mejoró de 4,40 a 4,85 unidades por kilogramo de tela y de 0,142 a 0,189 unidades por sol invertido, alcanzándose incrementos del 12 % en productividad laboral y del 25 % en costos de materia prima e insumos. Los procesos constituyen el eje central del desempeño organizacional, ya que su nivel de estandarización y control influye directamente en la eficiencia operativa, la calidad del servicio y los costos asociados. Desde esta perspectiva, la gestión por procesos permite identificar fuentes de variabilidad, desperdicios y fallas que afectan el rendimiento global del sistema, por lo que su análisis sistemático resulta fundamental en entornos organizacionales complejos, particularmente en procesos de servicios con alta variabilidad operativa (Ticona Gregorio, 2022).

La aplicación de los principios Lean ha sido analizada en contextos productivos específicos como un enfoque orientado a la eliminación sistemática de actividades que no agregan valor y a la mejora del desempeño operativo. En el sector de la industria de prefabricados, Dara et al. (2024) identifican que actividades no generan valor como inventarios innecesarios, tiempos de espera, sobreproducción y movimientos innecesarios afectan significativamente la productividad y la eficiencia del proceso. Mediante el uso de herramientas Lean como Just-in-Time, mejora continua y gestión de la calidad total, los autores evidencian una relación positiva y significativa entre la aplicación de principios

Lean y la reducción de actividades no valiosas ($\beta = 0,654$), demostrando que la adopción estructurada de Lean permite optimizar el uso de recursos, mejorar el flujo del proceso y reducir costos operativos en la industria de prefabricados.

El ciclo DMAIC constituye una estructura metodológica sistemática para el análisis, mejora y control de procesos, orientada a la identificación de causas raíz y a la reducción de la variabilidad operativa. En este sentido, Jamil et al. (2020) emplean el enfoque DMAIC como marco metodológico para estructurar el mapeo y análisis del flujo de valor, demostrando que su aplicación permite organizar de manera secuencial las etapas de definición del problema, medición del desempeño, análisis de desperdicios, implementación de mejoras y control de los resultados. Este uso del DMAIC evidencia su utilidad como metodología de mejora continua basada en datos para el estudio y optimización de procesos productivos, independientemente del contexto específico en el que se aplique.

Maidin et al. (2023) integran el enfoque DMAIC en un modelo de selección de materiales, utilizando sus fases para estructurar la identificación de criterios técnicos, la evaluación cuantitativa del desempeño de las alternativas y la validación de la solución seleccionada. Este uso del DMAIC muestra su aplicabilidad como herramienta metodológica para el análisis estructurado y el control de decisiones en entornos industriales con alta complejidad técnica, más allá de la mejora directa del proceso productivo.

En este sentido, Marín-Calderón et al. (2023) aplicaron el ciclo DMAIC en una unidad de fabricación de paneles modulares de poliestireno con el objetivo de reducir desperdicios, logrando incrementar la confiabilidad del sistema de medición del 81 % al 98 %, así como desarrollar un modelo estadístico predictivo con una precisión del 90,45 %. Asimismo, tras tres meses de estandarización y control del proceso, los defectos por millón de oportunidades (DPMO) se redujeron en un 66 % y el nivel sigma aumentó de 3,66 a 4,05, evidenciando un impacto medible del DMAIC en la reducción de defectos y en la mejora del desempeño del proceso productivo.

METODOLOGÍA

Esta investigación es cuantitativa explicativa con diseño preexperimental, el cual permite analizar la relación causa-efecto entre variables al manipular una variable independiente y observar sus efectos en una variable dependiente. Este artículo demuestra que la aplicación de las cinco fases de la metodología *lean six sigma* disminuye los costos asociados a la no calidad en un determinado proceso. Esta metodología es práctica, económica y adecuada para una empresa, porque permite evaluar el impacto de una acción o mejora en los procesos en los cuales no es posible controlar todas las variables, pero que requieren conocer si una estrategia genera cambios significativos en los resultados.

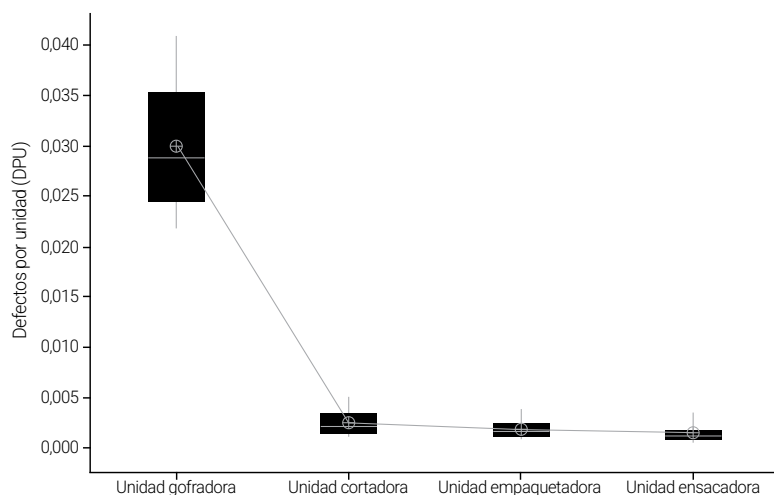
La población de este estudio está conformada por once líneas convertidoras de papel tisú distribuidas en tres plantas industriales en Perú: cuatro líneas convertidoras se ubican

en la planta Lima, otras cuatro en la planta Cañete y tres líneas convertidoras en la planta Arequipa. Se seleccionó la línea convertidora n°. 120, ubicada en Cañete, porque responde a un muestreo intencional de caso crítico: se trata de la línea más automatizada y de mayor capacidad en la empresa, con un 33 % más de producción con respecto a las demás. En ese sentido, representa un punto estratégico para evaluar mejoras replicables en las otras líneas. Además de concentrar el mayor volumen de producción, esta línea también registró un incremento del 189 % en los costos de no calidad, tras la instalación de un nuevo sistema de gofrado en el año 2023, lo que la convierte en un caso prioritario y crítico para el análisis. Asimismo, su alta complejidad tecnológica proporciona una plataforma adecuada para probar la eficacia del modelo *lean six sigma*, con potencial de escalabilidad hacia otras líneas menos automatizadas.

Cada línea convertidora cuenta con cuatro unidades o subprocesos: gofradora, cortadora, empaquetadora y ensacadora. Este estudio solo se enfoca en la unidad gofradora, porque en ella se observa una tendencia creciente de producto rechazado. Para validar este punto se empleó la herramienta estadística ANOVA.

Figura 1

Gráfico de cajas ANOVA – Defectos por unidad VS unidades de la línea convertidora n°. 120



Se realizó el análisis ANOVA y los resultados mostraron que el número promedio de defectos por unidad (DPU) del año 2023 en la unidad de gofrado arrojó 0,03, cifra considerablemente diferente de las de otras unidades. Al mismo tiempo, esta unidad representa la unidad o subproceso más crítico de una línea convertidora (ver Figura 1).

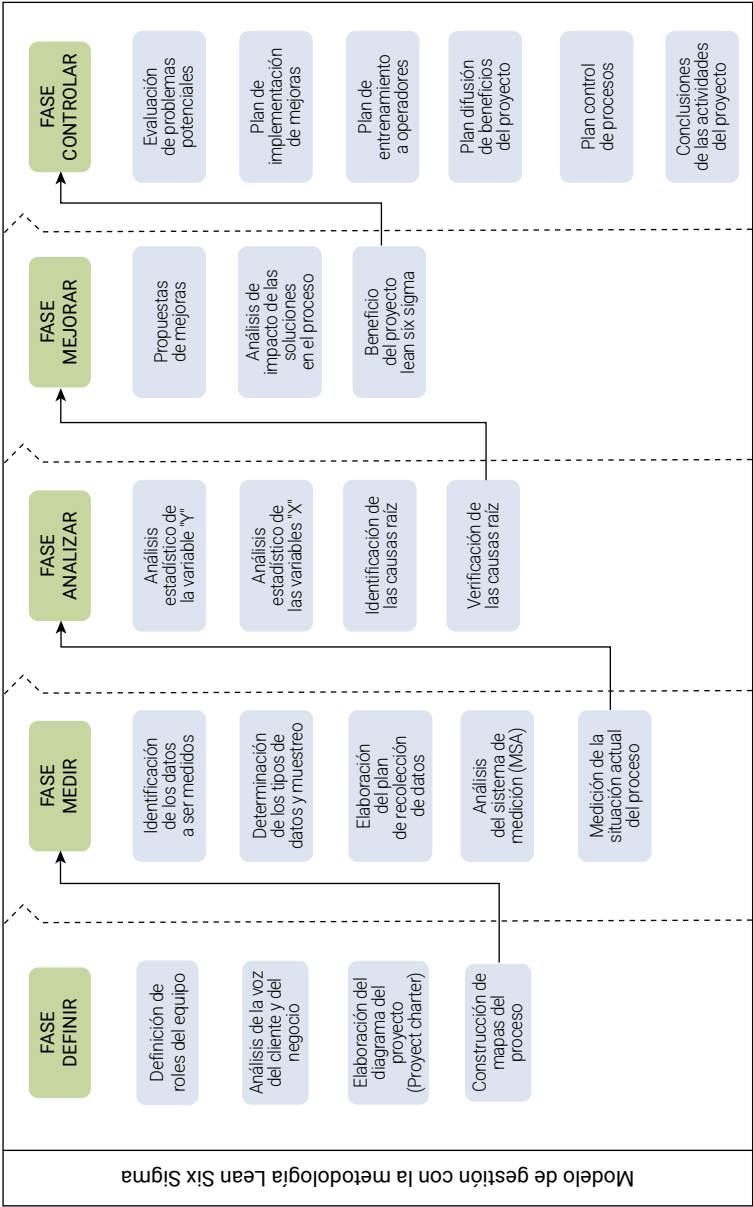
El estudio se ejecutó durante los años 2023 (antes del proyecto) y 2024 (después de las mejoras). Este marco de tiempo permitió realizar una comparación entre la condición

de las operaciones, previa y posteriormente a la aplicación de la metodología *lean six sigma* y las fases del DMAIC. Durante la primera fase (definir), se recopiló la información y se realizó un análisis detallado de todos los procesos de la empresa, identificando las variables críticas de entrada (X) las cuales son: presión neumática de acercamiento de rodillos de acero, acercamiento del rodillo cliché y rodillo de acero, viscosidad del adhesivo de laminación y la velocidad del rodillo anilox; la variable de salida (Y) son los rollos de papel tisú que presentan el modo de defecto "sin laminación". En la siguiente etapa (medir) se aplicaron herramientas estadísticas empleando el *software* Minitab y el análisis del sistema de medición (MSA) por atributos y por variables, validando así la confiabilidad de los instrumentos. La aceptabilidad fue superior al 90 % para atributos y las mejoras aplicadas redujeron la variabilidad de los instrumentos para variables a menos del 10 %, asegurando datos confiables.

En la fase analizar, se aplicó un diseño de experimentos (DOE) factorial completo, con tres réplicas para determinar el efecto individual y combinado de las variables X sobre Y. Allí se identificó que las variables X1, X3 y X4 eran estadísticamente significativas, mientras que X2 no lo fue. Además, se profundizó en el análisis, utilizando la herramienta de los cinco porqués, lo que permitió identificar causas raíz asociadas a la falta de estandarización de procedimientos, ausencia de capacitación técnica, deficiencias en el mantenimiento y en la calibración de equipos de medición, factores que impactaban directamente en la variabilidad del proceso. En la fase mejorar, las acciones de mejora se priorizaron mediante una matriz multicriterio (impacto sigma, costo/beneficio, tiempo, alineación estratégica). Dichas soluciones se implementaron en tres etapas, y su impacto se evaluó mediante nuevos análisis de capacidad, sigma y porcentajes fuera de especificación. En la última fase (control), se estandarizaron procedimientos, los operadores fueron capacitados y se establecieron planes de monitoreo para mantener las mejoras logradas. Finalmente, se aplicó una prueba MANOVA para validar estadísticamente los resultados, confirmando diferencias significativas en los indicadores antes y después de la implementación del modelo *lean six sigma*.

El modelo *lean six sigma* diseñado en esta investigación se fundamenta en la aplicación de las fases del DMAIC, con el objetivo de reducir los costos de la no calidad en las líneas convertidoras del sector manufactura en la industria papelera. Sin embargo, este modelo también puede ser aplicado a cualquier otra empresa perteneciente al sector industrial. Para garantizar la replicabilidad del estudio, se documentaron detalladamente todos los procedimientos aplicados, incluyendo los criterios de selección de datos, los instrumentos, las frecuencias de medición y los parámetros específicos del diseño de experimentos (DOE), como el número de factores (4), niveles (2), número de réplicas (3) y aleatorización de las corridas. Las mediciones fueron realizadas por personal capacitado en control estadístico de procesos, utilizando el *software* Minitab. Además, se definieron hojas estandarizadas de recolección de datos y se siguieron protocolos técnicos para el uso de herramientas como ANOVA, MSA y MANOVA, lo que permite a otros investigadores aplicar este enfoque bajo condiciones similares en contextos industriales comparables (ver Figura 2).

Figura 2
Modelo fundamentado en la metodología lean six sigma

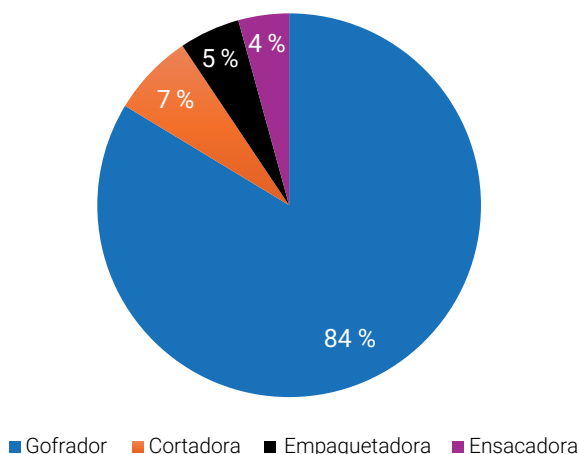


RESULTADOS

Para garantizar el éxito de la metodología, el equipo de liderazgo fue conformado por 1 Champions, 1 Black Belt y 3 Green Belts. Fue esencial definir correctamente el foco principal del proyecto. Tras un análisis de la voz del negocio y de los clientes, se determinaron las necesidades esenciales de los clientes internos y externos, identificando los aspectos críticos en función de la calidad del negocio. En el año 2019 la línea convertidora L120 inició sus operaciones. Durante el primer año, los operadores estuvieron en aprendizaje y el indicador de productos defectuosos fue de 4,58 %. En años posteriores, el indicador se redujo considerablemente, llegando a 1,57 % como acumulado del año 2022. Sin embargo, al inicio del año 2023, con la instalación de una nueva tecnología en la unidad gofradora, el indicador de productos defectuosos cerró a fin de año en 3,58 %. La gerencia de operaciones identificó entonces que el costo de reproceso ascendió a S/. 2 248 428, debido a un incremento del 189 % con respecto al año 2022. Como se ha visto antes, la línea convertidora tiene cuatro unidades o subprocesos. En el desglose se observa que el 84 % del total del costo de reproceso del año 2023 pertenece a la unidad gofradora (ver Figura 3).

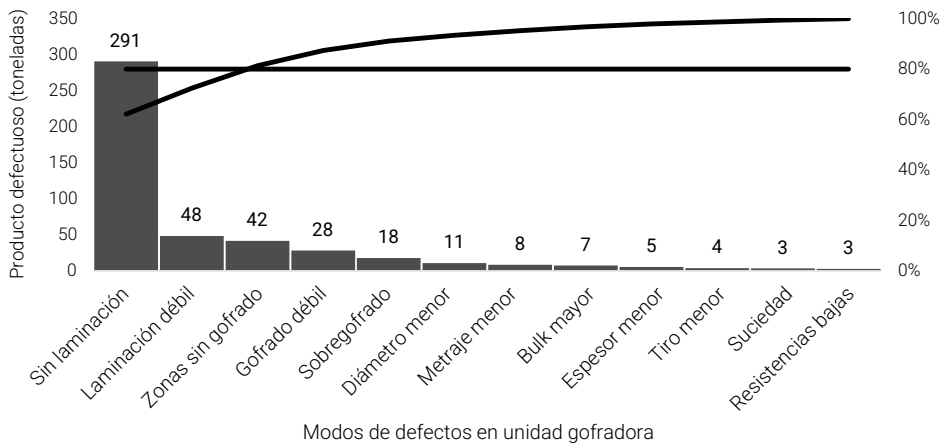
Figura 3

Participación porcentual del costo de reproceso del año 2023 en la L120



A partir de la información recopilada de los reportes de producción y calidad del año 2023, se realizó un diagrama de Pareto para ilustrar los defectos identificados en la unidad de gofrado que afectan significativamente a la calidad de los rollos de papel tisú. El defecto con la mayor frecuencia de rechazo es "sin laminación", que representa un 62,1 % del total, equivalente a 291 toneladas del total acumulado (ver Figura 4).

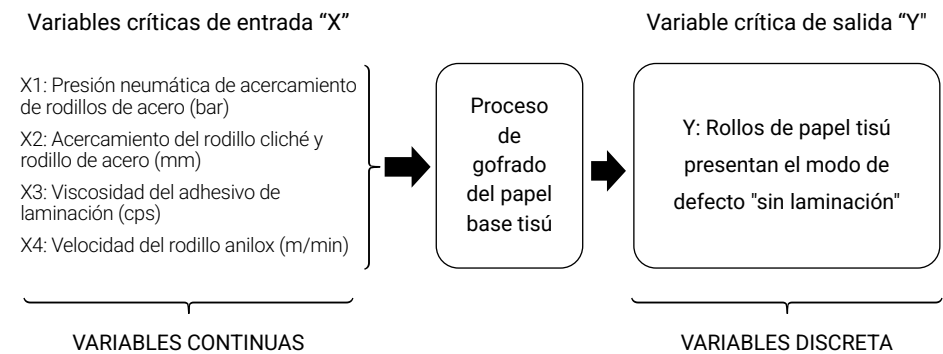
Figura 4
Diagrama de Pareto de los defectos de calidad en la unidad gofradora (2023)



El equipo líder del proyecto, en conjunto con la gerencia de operaciones, definió que los objetivos que debían cumplirse para fines del año 2024 eran reducir el costo de reproceso a un valor mayor o igual al 35 %, y disminuir el indicador de producto defectuoso hasta un nivel del 2,2 % o inferior.

En esta fase se realizaron mediciones para establecer la línea base del indicador de productos defectuosos relacionado con el defecto “sin laminación”. También se identificó y determinó el tipo de datos a ser medidos, tales como las variables críticas de entrada del proceso (las cuales serán denotados como variables X) y aquellas relacionadas con el nivel del indicador de productos defectuosos en el que se ha generado el defecto denominado “sin laminación” (el cual será denotado como variable crítica de salida Y) (ver Figura 5).

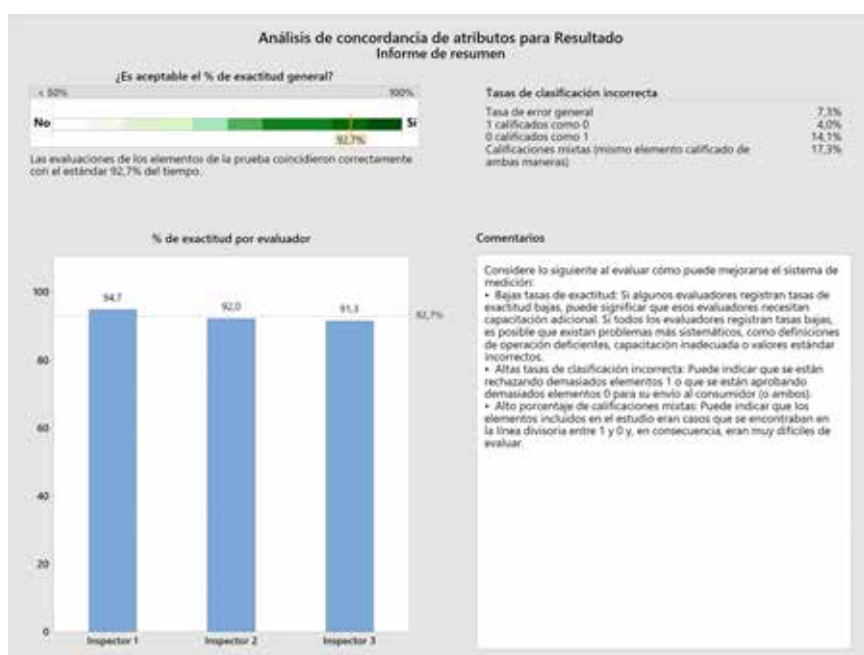
Figura 5
Variables críticas de entrada y salida de la unidad gofradora



Se empleó la herramienta estadística de análisis del sistema de medición por atributos (MSA) para la variable de salida Y, empleando el *software* estadístico Minitab. Este *software* se utiliza en procesos productivos en los que inspectores realizan evaluaciones subjetivas para categorizar las piezas en dos grupos (conforme o no conforme). Para evitar errores de clasificación que afecten la calidad del producto final, el objetivo es validar la confiabilidad del juicio humano en procesos en los que se clasifica visualmente un producto y verificar si el sistema de inspección es capaz de detectar diferencia reales entre piezas buenas y defectuosas;

Figura 6

Resultado del análisis del sistema de medición para atributos



Los resultados del MSA coinciden con el estándar en un 92,7 % y la tasa de error general es del 7,3 %, lo que indica que el sistema de medición empleado en el proceso es el adecuado, pues supera el 90 % de aceptabilidad (ver Figura 6).

También se empleó el análisis del sistema de medición para variables continuas (MSA) para las variables de entrada X. Se utilizó para medir la reproducibilidad, que se refiere a la precisión o variabilidad del mismo objeto, pero en condiciones diferentes, realizadas por distintos operadores. La repetibilidad se refiere a la precisión o variabilidad de las mediciones cuando un solo operador realiza varias mediciones del mismo objeto en condiciones similares.

Tabla 1
Resultados del análisis del sistema de medición para variables continuas

| Variables X | Variación del sistema de medición (antes) | Variación del sistema de medición (después) |
|---|---|---|
| X1: Acercamiento de rodillos de acero por presión neumática (bar) | 34,5 % | 7,1 % |
| X2: Distancia entre el rodillo de acero y rodillo cliché (mm) | 26,1 % | 9,2 % |
| X3: Viscosidad del adhesivo de laminación (cps) | 21,7 % | 8,5 % |
| X4: Velocidad del rodillo anilox (m/min) | 22,7 % | 8,8 % |

Los resultados del MSA inicial para cada variable X tienen una fuente de variación mayor o igual al 10 %. Dado que el valor obtenido supera el umbral permitido, el sistema de medición es inaceptable. Ante ello, se plantearon y ejecutaron varias mejoras en el sistema de medición, tales como capacitación teórica y práctica acerca de los procedimientos de medición, mantenimiento y calibración de los instrumentos de medición, renovación de los instrumentos de medición que ya cumplieron su tiempo de vida útil y elaboración de un cronograma para realizar MSA con una frecuencia determinada para las variables X. El objetivo final era reducir la variación a un valor menor al 10 %, como se muestra en los resultados del antes y después de las mejoras (ver Tabla 1).

Después de haber validado que los sistemas de medición sean aceptables y válidos, se procedió a medir las variables de entrada, empleando una herramienta estadística de calidad (análisis de capacidad) para cada una de las variables X.

Tabla 2
Resultado inicial del análisis de capacidad de cada variable de entrada

| Resultados | Variables de entrada | | | |
|--------------------------------------|----------------------|----------------|----------------|----------------|
| Estadísticos de capacidad | X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₄ |
| Capacidad potencial del proceso (Cp) | 0,63 | 0,58 | 0,42 | 0,56 |
| Capacidad real del proceso (Cpk) | 0,61 | 0,57 | 0,42 | 0,51 |
| Nivel sigma (Z) | 1,57 | 1,39 | 0,83 | 1,29 |
| % Fuera de especificación (%FE) | 5,83 | 8,16 | 20,45 | 9,87 |
| Partes por millón (PPM) | 58 338 | 81 646 | 204 509 | 98 696 |

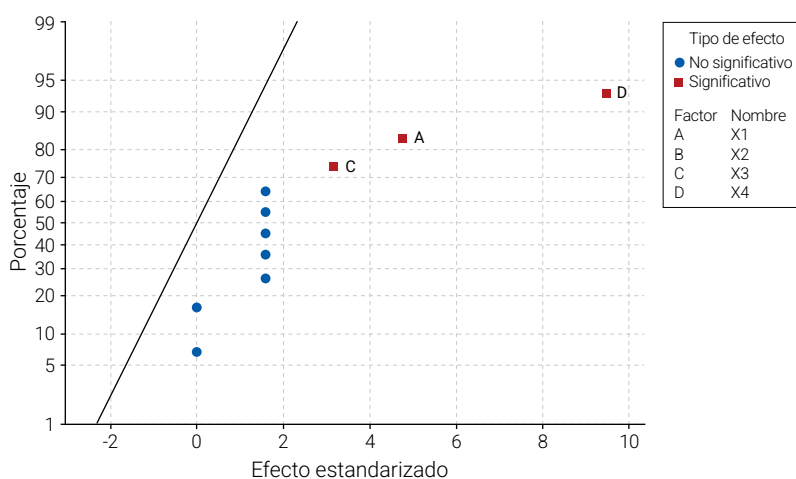
Los indicadores obtenidos nos muestran el estado inicial del proceso. A partir de allí, se concluye que hay mediciones que se encuentran fuera de los límites de especificación,

que el proceso no está dentro del objetivo y que las mediciones no están centradas entre los límites de especificación. Además, los índices de capacidad C_p , C_{pk} son menores a 1, que es un valor mínimo generalmente aceptado para que un proceso cumpla con los requisitos de calidad, así como un nivel sigma por debajo de 2, que indica a su vez un porcentaje fuera de especificación por encima del 5 % (ver Tabla 2).

El propósito de esta fase fue identificar y validar las causas raíz del problema que generó el defecto, la variación y el costo de la no calidad en el proceso. La herramienta estadística diseño de experimentos (DOE) de tipo factorial facilita la visualización del nivel de significancia de las variables de entrada, lo que a su vez permite evaluar —al mismo tiempo— los efectos individuales y combinados de las variables de entrada. Para el análisis se utilizaron los datos que fueron recolectado en la fase anterior, con el fin de determinar el nivel de relevancia de la variación de cada una de las variables X en relación con la variable Y.

Figura 7

Gráfico normal de efectos estandarizados



Nota: la respuesta es Resultado; $\alpha = 0,05$.

Como resultado del DOE, en la gráfica normal de efectos estandarizados se observó que los efectos significativos se representan con puntos rojos (que se alejan más del 0 con respecto al eje horizontal), mientras que los efectos no significativos se representan con puntos azules. Se identificó, entonces, que las variables de entrada que están directamente relacionadas con el defecto “sin laminación” son las X1, X3 y X4, cuyos valores p son menores o iguales a 0,05, lo que los hace estadísticamente significativos, mientras que la variable X2 no es estadísticamente significativa (ver Figura 7).

Luego de identificar qué variables de entrada X eran más significativas sobre la variable de salida, se llevó a cabo un análisis de la causa raíz utilizando la herramienta cinco porqués, basada en matrices que identifican las causas principales que influyen en la variación del proceso para la variable Y (ver Tabla 3).

Tabla 3

Herramienta de análisis de causa raíz (cinco porqués)

| ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ (HERRAMIENTA CINCO PORQUÉS) | | | | | |
|---|---|---|---|--|-------------|
| Variables X | Leyenda: | | | | |
| V → | Hipótesis verdadera, ir a siguiente ronda | | | | |
| F → | Hipótesis falsa, detener análisis | | | | |
| | 1er por qué | 2do por qué | 3er por qué | 4to por qué | 5to por qué |
| | ¿Por qué la presión neumática de acercamiento de los rodillos de acero es baja? | | | | |
| Pregunta | ¿Por qué el operador no reguló la presión? | ¿Por qué el operador no conoce cuál es el rango de trabajo? | ¿Por qué el operador no está definido? | | |
| X1. | | | | | |
| Acercamiento de rodillos de acero por presión neumática (bar) | V | F | V | F | F |
| Respuesta | Porque el operador no reguló la presión | Porque no conoce cuál es el rango de trabajo | Porque no está definido | Porque no han actualizado el instructivo de ajuste de presión neumática de acercamiento de los rodillos de acero | |
| | ¿Por qué el operador no reguló correctamente la distancia? | | | | |
| Pregunta | ¿Por qué el operador no reguló correctamente la distancia? | ¿Por qué el operador no conoce la forma correcta de regulación? | ¿Por qué el operador no ha sido capacitado? | | |
| X2. | | | | | |
| Distancia entre el rodillo de acero y rodillo cliché (mm) | V | F | V | F | F |
| Respuesta | Porque el operador no reguló correctamente la distancia | Porque el operador no conoce la forma correcta de regulación | Porque no ha sido capacitado | Porque no existe un instructivo de regulación de acercamiento del rodillo cliché y rodillo de acero | |

| | | | | | | | | | | | |
|---|-----------|--|-------------------------------------|---|-------------------------------------|--|-------------------------------------|---|-------------------------------------|---|-------------------------------------|
| X3. Viscosidad del adhesivo de laminación (cps) | Pregunta | ¿Por qué los valores de viscosidad del adhesivo de laminación son muy variables? | <div><div>V</div><div>F</div></div> | ¿Por qué el viscosímetro no se encontraba en buen estado ni calibrado? | <div><div>V</div><div>F</div></div> | ¿Por qué se cuenta con varios viscosímetros en varios puntos de la planta? | <div><div>V</div><div>F</div></div> | ¿Por qué se requiere realizar mediciones cada hora? | <div><div>V</div><div>F</div></div> | ¿Por qué no se realiza un análisis de medición de los equipos? | <div><div>V</div><div>F</div></div> |
| | Respuesta | Porque el viscosímetro no se encontraba en buen estado ni calibrado | | Porque se cuenta con varios viscosímetros en varios puntos de la planta | | Porque se requiere realizar mediciones cada hora | | Porque no se realiza un análisis de medición de los equipos | | Porque no se ha establecido una frecuencia de análisis del sistema de medición de los viscosímetros | |
| X4. Velocidad del rodillo anilox (m/min) | Pregunta | ¿Por qué la velocidad tiende a bajar en el rodillo anilox? | <div><div>V</div><div>F</div></div> | ¿Por qué se desgasta al tener contacto con los dos raspadores? | <div><div>V</div><div>F</div></div> | ¿Por qué tiene que limpiar el exceso de adhesivo? | <div><div>V</div><div>F</div></div> | ¿Por qué el flujo del adhesivo se realiza por un tanque elevado? | <div><div>V</div><div>F</div></div> | | |
| | Respuesta | Porque se desgasta al tener contacto con los dos raspadores | | Porque tiene que limpiar el exceso de adhesivo | | Porque el flujo del adhesivo se realiza por un tanque elevado | | Porque no se cuenta con un sistema de control automático de la velocidad del rodillo anilox | | | |

En respuesta a la necesidad del problema, se desarrolló una lluvia de ideas con integrantes de las diferentes áreas de la empresa y el equipo líder del proyecto. El objetivo fue plantear mejoras en el proceso directamente relacionadas con las causas identificadas en la herramienta de los cinco porqués. Estas fueron revisadas con una matriz de evaluación, en la que cada mejora planteada fue evaluada de acuerdo a cinco categorías. Cada una de ellas recibió un valor que oscilaba entre 1 y 5, donde 5 representa un efecto sobresaliente y 1 representa una deficiencia en función al efecto positivo en la solución de la problemática (ver Tabla 4).

Tabla 4
Listado de mejoras planteadas

| MEJORAS PLANTEADAS | Dificultad de implementación | Costo / beneficio | Tiempo de implementación | Impacto sigma | Alineación con la estrategia de la empresa | | Total | Prioridad |
|--|------------------------------|-------------------|--------------------------|---------------|--|--|-------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | |
| 1. Actualizar el instructivo de ajuste en el acercamiento de rodillos de acero por presión neumática. | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | | 67 | A |
| 2. Difundir el instructivo en el acercamiento de rodillos de acero por presión neumática a los operadores. | 3 | 4 | 3 | 3 | 5 | | 57 | B |
| 3. Elaborar un nuevo instructivo de regulación en la distancia entre el rodillo de acero y rodillo cliché. | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | | 67 | A |
| 4. Implementar y difundir el nuevo instructivo de regulación en la distancia entre el rodillo de acero y rodillo cliché. | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | | 60 | B |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|----|---|
| 5. Definir y elaborar una frecuencia de uso del análisis del sistema de medición (MSA) de los viscosímetros. | 4 | 5 | 3 | 5 | 4 | 63 | A |
| 6. Volver a inducir a los operadores del instructivo de medición de viscosidad. | 3 | 4 | 3 | 4 | 5 | 61 | B |
| 7. Reevaluar el plan de calibración y mantenimiento de los equipos de medición de viscosidad. | 4 | 5 | 4 | 3 | 5 | 63 | A |
| 8. Adquirir e instalar un sistema de control automático de la velocidad del rodillo anilox. | 2 | 3 | 2 | 3 | 4 | 46 | C |
| 9. Analizar e implementar un plan de mantenimiento preventivo de los rodillos de acero, rodillo cliché y rodillo anilox. | 4 | 4 | 4 | 3 | 5 | 61 | C |
| 10. Establecer un plan de calibración y mantenimiento del nuevo sistema de control automático de la velocidad del rodillo anilox. | 3 | 5 | 4 | 3 | 5 | 62 | A |

Luego de haberse ejecutado las mejoras propuestas en función a la prioridad (en el siguiente orden A, B y C), se volvieron a medir las variables de entrada y de salida para evaluar el impacto generado en los resultados.

Tabla 5
Resultado después de las mejoras del análisis de capacidad de cada variable de entrada

| Resultados | Variables de entrada | | | |
|--|----------------------|----------------|----------------|----------------|
| | X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₄ |
| Estadísticos de capacidad | | | | |
| Capacidad potencial del proceso (Cp) - Antes | 0,63 | 0,58 | 0,42 | 0,56 |
| Capacidad potencial del proceso (Cp) - Después | 1,44 | 1,11 | 1,12 | 1,17 |
| Capacidad real del proceso (Cpk) – Antes | 0,61 | 0,57 | 0,42 | 0,51 |
| Capacidad real del proceso (Cpk) - Después | 1,40 | 1,06 | 1,06 | 1,05 |
| Nivel sigma (Z) – Antes | 1,57 | 1,39 | 0,83 | 1,29 |
| Nivel sigma (Z) – Después | 4,13 | 3,10 | 3,12 | 3,14 |
| % Fuera de especificación (%FE) – Antes | 5,83 | 8,16 | 20,45 | 9,87 |
| % Fuera de especificación (%FE) - Después | 0,00 | 0,10 | 0,09 | 0,08 |
| Partes por millón (PPM) – Antes | 58 338 | 81 646 | 204 509 | 98 696 |
| Partes por millón (PPM) – Después | 18 | 976 | 915 | 850 |

Luego de la implementación de las mejoras, se evaluó la variable de salida Y. Los datos de los informes de calidad sobre la cantidad de productos defectuosos, cuando finalizó el proyecto en diciembre del año 2024, indican que se logró un PPM = 6 473 rollos defectuosos totales, con una reducción del 58 % con respecto al año 2023. Al mismo tiempo, el PPM = 3 112 rollos defectuosos que presentan el defecto “sin laminación”, se logró reducir en un 61 % con respecto al año anterior. Además, el nivel Z de sigma del proceso en la L120 aumentó significativamente: de 3,38 en el año 2023 a 4,24 en el año 2024 (ver Tabla 5). Antes de que iniciara el proyecto, el costo de reproceso (de enero a diciembre del año 2023) fue S/ 2 248 667; tras la aplicación sistemática de la metodología *lean six sigma*, al cierre del año 2024 el costo de reproceso se redujo a S/ 1 347 432, lo que representa un 40 % menos, que se convierte en un beneficio de rentabilidad para la empresa.

Con el fin de garantizar un buen rendimiento del proceso una vez concluidas las cuatro primeras fases de la *metodología lean six sigma*, el equipo responsable del proyecto se ocupó de mantener y sostener las mejoras implementadas (ver Tabla 4), a través de un sistema robusto y sólido. El principal objetivo de esta última fase (controlar) fue proporcionar planes de desarrollo a los operadores de la línea convertidora L120, para que sean autónomos en el control y monitoreo de las variables más importantes del proceso, dotándolos de

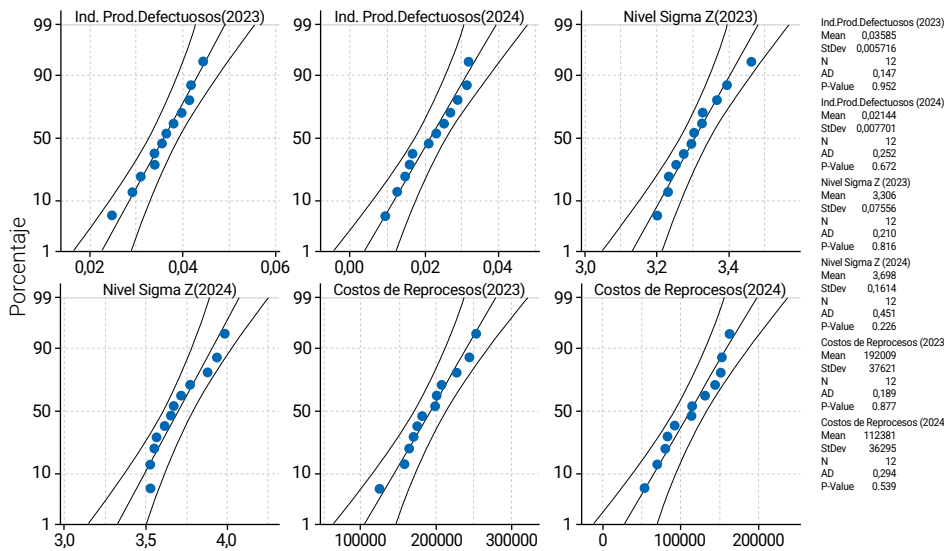
conocimiento técnico. Se implementó un plan de entrenamiento a operadores, un plan de las condiciones óptimas de operación (control de procesos) y el plan de difusión de los beneficios del proyecto.

Tras conseguir resultados positivos en la comparación entre los años 2023 (cuando se detectó el problema) y el año 2024 (después de la implementación del modelo de gestión), se realizó la prueba de normalidad multivariable para determinar si los datos obtenidos de los principales indicadores de desempeño siguen o no una distribución normal (Figura 8). Se utilizó el programa estadístico Minitab haciendo uso de la prueba de normalidad de Anderson-Darling, para comprobar los supuestos que se muestran a continuación.

- Si p es inferior a 0,05 los datos no se ajustan a una distribución normal (H_0)
- Si p es mayor a 0,05 los datos se ajustan a una distribución normal (H_1)

Figura 8

Prueba de normalidad multivariable



Nota: Normal - 95% de IC

La prueba de normalidad multivariable se llevó a cabo para cada variable investigada antes y después de la implementación del modelo de gestión basado en la metodología *lean six sigma*. Los valores p superan el nivel de significancia establecido en 0,05 para todas las variables, lo cual indica que los datos siguen una distribución normal (ver Figura 8). Luego de haber corroborado la distribución normal de los datos, se realizó la

prueba de hipótesis con la herramienta estadística MANOVA, que permitió evaluar si existen diferencias significativas en el antes y después de la implementación del modelo, con el objetivo de aceptar o rechazar la hipótesis de la investigación que se exponen a continuación.

Hipótesis nula (H_0) = No existe una reducción significativa en los costos de la no calidad al implementar el modelo de gestión basado en la metodología *lean six sigma*.

Hipótesis alternativa (H_1) = Existe una reducción significativa en los costos de la no calidad al implementar el modelo de gestión basado en la metodología *lean six sigma*.

Tabla 6
Prueba MANOVA – Antes y después del proyecto

| MANOVA – COMPARATIVO AÑO 2023 Y 2024 | | | | | |
|--------------------------------------|-----------------------|--------------------|-----|-------|------|
| Criterio | Estadístico de prueba | Grados de Libertad | | | |
| | | F | Num | Denom | F |
| Wilks´ | 0,18 | 30,21 | 3 | 20 | 0,00 |
| Lawley-Hotelling | 4,53 | 30,21 | 3 | 20 | 0,00 |
| Pillai´s | 0,82 | 30,21 | 3 | 20 | 0,00 |
| Roy´s | 4,53 | | | | |
| s = 1 | m = 0,5 | n = 9 | | | |

Se analizó el impacto de la implementación del modelo de gestión fundamentado en la metodología *lean six sigma* en tres indicadores esenciales de desempeño: el indicador de productos defectuosos, el nivel Z (sigma) del proceso y los costos de reprocesos. Los hallazgos indican que todas las evaluaciones estadísticas utilizadas (criterios de Wilks, Lawley-Hotelling, Pillai y Roy) señalan diferencias multivariadas de gran relevancia entre los dos años. Específicamente, el estadístico de Wilks ($\lambda = 0,18$) muestra un valor F de 30,21 con 3 y 20 grados de libertad y un valor $p < 0,05$ que evidencia que la posibilidad de que estas variaciones sean fruto de la casualidad es casi inexistente. Este patrón se repite en los otros criterios: Lawley-Hotelling ($P < 0,05 / F = 30,21$), Pillai ($P < 0,05 / F = 30,21 / V = 0,82$) y Roy ($F = 4,53$); tal como se detalla en la Tabla 6. En resumen, estos resultados indican que se puede descartar la hipótesis nula y determinar, más bien, que la aplicación del modelo tuvo un impacto considerable en todos los indicadores de desempeño, mejorando la calidad global del proceso en la línea convertidora de papel tisú (L120). Se concluye que existe una reducción significativa en los costos de la no calidad al implementar este modelo de gestión.

DISCUSIÓN

La implementación del modelo de gestión basado en la metodología *lean six sigma* demostró una mejora significativa en los indicadores de calidad y reducción de los costos de la no calidad en la línea convertidora L120, pues logró reducir en un 40 % los costos de la no calidad, el porcentaje de productos defectuosos paso de 3,58 % a 2,11 % y el nivel sigma aumentó de 3,38 a 4,24. Estos resultados coinciden con lo reportado por Febriana y Hasbullah (2021), quienes mediante la aplicación del ciclo DMAIC en la industria de neumáticos lograron reducir los defectos de mezcla del 0,947 % al 0,62 %, lo que representa una disminución del 34,5 % frente a las condiciones iniciales del proceso. De forma similar, Ingar (2023) aplicó *lean six sigma* en el sector metalmecánico, el índice de producto no conforme se redujo de 51,58 % a 19,47 % y el nivel sigma mejoró de 2,83 a 3,07.

En el sector manufacturero, Romero Cenzano (2024) deduce que la implementación de la filosofía Lean Six Sigma incrementa la productividad en un 27,2 % en una compañía minera. Por otra parte, Mittal et al. (2023) reportaron que la implementación de la metodología Six Sigma permitió reducir la tasa de rechazo de 5,5 % a 3,08 % y el nivel sigma aumentó de 3,9 a 4,45. Estos estudios respaldan la eficacia del enfoque *lean six sigma* en distintos sectores, y también validan que los beneficios observados en este estudio son consistentes —e incluso superiores— en términos de mejora de indicadores críticos. Además, el presente estudio amplía la evidencia empírica en el sector papeleru peruano, tradicionalmente poco explorado en la literatura científica, y demuestra que el emplear herramientas estadísticas avanzadas, tener un liderazgo técnico y una cultura de mejora continua puede generar impactos sostenibles y replicables en la gestión de calidad de procesos industriales.

CONCLUSIONES

La implementación del modelo de gestión basado en la metodología *lean six sigma* ha demostrado ser una solución efectiva frente a los altos costos de la no calidad en una empresa del sector papeleru. La intervención en la línea convertidora L120 logró resultados concretos, con una reducción del 40 % en los costos por reprocesos, una disminución significativa de productos defectuosos y un incremento en el nivel sigma del proceso. Estos logros evidencian la capacidad del modelo para generar mejoras tangibles en la eficiencia operativa.

El enfoque metodológico empleado se caracteriza por la integración de herramientas estadísticas, el análisis riguroso de datos y la identificación de oportunidades de mejora continua, lo cual permitió optimizar procesos complejos en un entorno de alta automatización. Esta experiencia refuerza la versatilidad de la metodología utilizada, que puede aplicarse más allá de los sectores tradicionalmente abordados, y la posiciona como un marco robusto para transformar operaciones industriales con demandas crecientes de precisión y control.

A nivel institucional, el modelo ha promovido una toma de decisiones fundamentada en evidencia, lo cual ha permitido mejoras sostenibles en el desempeño general de la organización. Los resultados financieros positivos y la reducción de variabilidad sentaron las bases para una cultura organizacional centrada en la calidad, elevando la madurez operativa y estratégica de la empresa. Esta transformación interna ha fortalecido las capacidades del equipo y ha consolidado una visión de mejora continua con impacto duradero.

El impacto también ha sido evidente a nivel local en la planta de Cañete, pues la aplicación del modelo permitió fortalecer una operación clave para el abastecimiento del mercado nacional, aumentando la eficiencia y fiabilidad de los procesos críticos. Asimismo, desde una perspectiva regional y nacional, el estudio se presenta como un referente metodológico replicable, útil para otras empresas manufactureras que enfrentan desafíos similares en materia de calidad, costos y competitividad industrial.

Finalmente, en el plano internacional, este trabajo amplía el campo de aplicación del *lean six sigma* al sector papelerero — tradicionalmente poco explorado en la literatura académica—, al implementarlo con éxito en él. Se demuestra así que esta metodología no solo es aplicable en industrias convencionales, sino también en sectores de consumo masivo con alto nivel de automatización. En conjunto, los resultados obtenidos validan la efectividad del modelo propuesto y lo posicionan como una herramienta estratégica para resolver problemas complejos relacionados con calidad, eficiencia y sostenibilidad en múltiples niveles organizacionales e industriales.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

Daniel Chirinos: conceptualización, análisis formal, metodología, investigación, administración del proyecto, visualización, redacción, revisión y edición. **Jorge Ortiz:** investigación, metodología, supervisión, validación, redacción, revisión y edición. **Ronald Chirinos:** análisis formal, investigación, *software* y visualización. **Israel Vásquez:** investigación, curación de datos y metodología.

REFERENCIAS

- Alsada, R. Y., & Kumar, Y. (2022). A measurement of quality costs in industrial organizations. *Cogent Business & Management*, 9(1). <https://doi.org/10.1080/23311975.2022.2128253>
- Belhadi, A., Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Zkik, K., Dileep Kumar, M., & Touriki, F. E. (2021). A Big Data Analytics-driven Lean Six Sigma framework for enhanced green performance: a case study of chemical company. *Production Planning & Control*, 34(9), 767-790. <https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1964868>
- Camisón, C., Cruz, S., & González, T. (2006). *Gestión de la calidad: conceptos, enfoques, modelos y sistemas*. Editorial Pearson Educación, S. A. <https://share.google/n4kfloiwt9diZC0Ny>
- Dara, H. M., Raut, A., Adamu, M., Ibrahim, Y. E., & Ingle, P. V. (2024). Reducing non-value added (NVA) activities through lean tools for the precast industry. *Heliyon*, 10(7), e29148. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29148>
- Benzaquen De Las Casas, J., & Avolio Alecchi, B. (2020). The path of total quality management implementation in a developing country: Peru. *International Journal for Quality Research*, 14(3), 749-764. <https://doi.org/10.24874/IJQR14.03-07>
- Febriana, T. H., & Hasbullah, H. (2021). Analysis and defect improvement using FTA, FMEA, and MLR through DMAIC phase: Case study in mixing process tire manufacturing industry. *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, 54(5), 721-731. <https://doi.org/10.18280/jesa.540507>
- Guimarey, F., Hernández, F., & Vásquez, M. (2021). Mejora de la productividad empleando la metodología DMAIC. *Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 8(2), 77-91. <https://doi.org/10.26495/icti.v8i2.1907>
- Hsiao, C. T., Lin, C.-P., & Fan, P.-H. (2023). The application of Six Sigma to improve the yield of plastic injection molding. *South African Journal of Industrial Engineering*, 34(2), 152-170. <https://doi.org/10.7166/34-2-2887>
- Ingar, C. A. (2023). Lean Six Sigma y mejora de la productividad en el servicio de reparación de equipos de minería en una empresa metalmecánica. *Industrial Data*, 26(2), 239-265. <http://dx.doi.org/10.15381/idata.v26i2.25462>
- Jamil, N., Gholami, H., Mat Saman, M.Z., Streimikiene, D., Sharif, S., & Zakuan, N. (2020). DMAIC-based approach to sustainable value stream mapping: towards a sustainable manufacturing system. *Economic research*, 33 (1), 331-360. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2020.1715236>

- Kulkarni, T., Toksha, B., Shirsath, S., Pankade, S., & Autee, A. (2023). Construction and Praxis of Six Sigma DMAIC for Bearing Manufacturing Process. *Materials Today: Proceedings*, 72(3), 1426-1433. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.09.342>
- Lestari, F., Marie, I. A., & Sari, E. (2021). Sustainable lean six sigma competitive manufacturing strategy for luggage manufacturers. *Journal of Modern Manufacturing Systems and Technology*, 5(2), 22-34. <https://doi.org/10.15282/jmmst.v5i2.6849>
- Maidin, N. A., Sapuan, S. M., Mastura, M. T., & Zuhri, M. Y. (2023). Materials Selection of Thermoplastic Matrices of Natural Fibre Composites for Cyclist Helmet Using an Integration of DMAIC Approach in Six Sigma Method Together with Grey Relational Analysis Approach. *Journal of Renewable Materials*, 11(5), 2381-2397. <https://doi.org/10.32604/jrm.2023.026549>
- Marín Calderón, A. V., Valenzuela Galván, M., Cuamea Cruz, G., & Brau Ávila, A. (2023). Aplicación de la metodología Lean Six Sigma para disminuir desperdicios en una unidad de fabricación de paneles modulares de poliestireno. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 24(1), 1-12. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2023.24.1.007>
- Mittal, A., Gupta, P., Kumar, V., Owad, A., Mahlawat, S., & Singh, S. (2023). The performance improvement analysis using Six Sigma DMAIC methodology: A case study on Indian manufacturing company. *Heliyon*, 9(3), e14625. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14625>
- Morais, F.P. & Curto J.M.R. (2022). Challenges in computational materials modelling and simulation: A case-study to predict tissue paper properties. *Heliyon*, 8(5), e09356. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09356>
- Ortiz, L., Ruiz, C. (2023). Análisis del sector de papel tissue en el Perú [Tesis de maestría]. Universidad de Piura. Repositorio institucional Pirhua. <https://hdl.handle.net/11042/6593>
- Pérez-Domínguez, L., Pérez-Blanco, J., García-Villalba, L., y Gómez-Zepeda, P. (2020). Aplicación de metodología DMAIC en la resolución de problemas de calidad. *Mundo FESC*, 10(19), 54-65. <https://doi.org/10.61799/2216-0388.508>
- Pongboonchai-Empl, T., Antony, J., Garza-Reyes, J. A., Komkowsky, T., & Tortorella, G. L. (2023). Integration of Industry 4.0 technologies into Lean Six Sigma DMAIC: a systematic review. *Production Planning & Control*, 35(12), 1403-1428. <https://doi.org/10.1080/09537287.2023.2188496>
- Romero Cenzano, J. E. (2024). *Gestión basada en la filosofía Lean Six Sigma y la productividad en una compañía minera 2021* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional Pontificia Universidad Católica del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/28555>

Statista. (2020). *Tissue and Hygiene Paper Report 2020*. <https://www.statista.com/study/55500/tissue-and-hygiene-paper>

Ticona Gregorio, H. I. (2022). Aplicación de Lean Six Sigma para mejorar el subproceso de reparación de averías en enlaces de comunicaciones. *Industrial data*, 25(1), 205-228. <https://doi.org/10.15381/idata.v25i1.22194>

GESTIÓN DE ACTIVOS INTANGIBLES PSICOSOCIALES EN EL SECTOR FINANCIERO CUBANO 2024: UN ENFOQUE ESTRATÉGICO BASADO EN UN MODELO CONCEPTUAL

NAIVI MONTANÉ MARSAL*

<https://orcid.org/0000-0003-2295-3622>

Hebei Normal University of Science and Technology, P. R. China

ARMANDO CUESTA SANTOS

<https://orcid.org/0000-0001-6389-9453>

Facultad de Ingeniería Industrial,
Universidad Tecnológica de la Habana “José Antonio Echeverría”, Cuba

Recibido: 15 de mayo del 2025 / Aceptado: 21 de julio del 2025

Publicado: 19 de diciembre del 2025

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2025.n049.7926>

RESUMEN. Los activos intangibles psicosociales (AIP), como el liderazgo, el compromiso, la satisfacción laboral, las competencias laborales y la percepción de perspectivas, pueden generar valor en la organización. En 2024 se realizó una investigación transversal descriptiva en el Banco Central de Cuba, con el objetivo de desarrollar un modelo conceptual para la gestión de AIP en instituciones financieras. La muestra, seleccionada mediante muestreo intencional, estuvo compuesta por trabajadores de la institución. Se emplearon técnicas como el cuestionario, el grupo de expertos (Delphi y AHP). La fiabilidad del cuestionario se evaluó con el coeficiente alfa de Cronbach. Se calcularon índices de pesos, importancia, consistencia y alineamiento estratégico. Los resultados evidencian una correspondencia favorable entre las estrategias y el desempeño organizacional.

Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

* Autor correspondiente

Correos electrónicos en orden de aparición: naivimontane@hotmail.com, armandocuestasantos@gmail.com

Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

Se observaron correlaciones positivas de moderadas a altas entre percepción de perspectivas, satisfacción laboral, liderazgo y compromiso. El modelo constituye una base sólida para acciones de mejora continua en la gestión institucional.

PALABRAS CLAVE: psicología / gestión de personal / planeamiento estratégico / recursos humanos / administración

MANAGEMENT OF INTANGIBLE PSYCHOSOCIAL ASSETS IN THE 2024 CUBAN FINANCIAL SECTOR: A STRATEGIC APPROACH BASED ON A CONCEPTUAL MODEL

ABSTRACT. Psychosocial intangible assets (PIAs), such as leadership, commitment, job satisfaction, work competencies, and perceived outlook, have demonstrated their potential to generate organizational value. This study aimed to develop a conceptual model for the management of PIAs, and conducted a descriptive cross-sectional analysis in 2024 at the Central Bank of Cuba. The sample, selected through purposive sampling, consisted of the institution's employees. Research techniques included a questionnaire, an expert panel (Delphi method), and the Analytic Hierarchy Process (AHP). Also, assessed the reliability of the questionnaire using Cronbach's alpha coefficient. Indices of weight, importance, consistency, and strategic alignment were calculated. The results show a favorable correspondence between institutional strategies and organizational performance. The analysis revealed moderate to strong positive correlations, particularly among perceived outlook, job satisfaction, leadership, and commitment. Finally, lowest, though still positive, correlation occurred between perceived outlook and work competencies. The model supports continuous improvement in institutional management.

KEYWORDS: psychology / human capital / strategic planning / personnel management / management

INTRODUCCIÓN

Los activos intangibles crean valor cuando se integran a los procesos, procedimientos y estructuras de la organización. El término activos intangibles psicosociales (AIP) fue acuñado por Cuesta Santos y Valencia Rodríguez (2014), al referirse a aquellos activos de difícil medición y gestión: “no solo aquellos indicadores intangibles obvios como patentes, marcas de empresa, derechos de autor, etcétera, sino aquellos como la lealtad de los clientes, el compromiso de los empleados, las competencias, el liderazgo, la satisfacción laboral, entre otros” (p. 10). Ejemplos de estos son las competencias laborales, el liderazgo, el compromiso, la satisfacción laboral y la percepción de perspectivas.

En el marco de la gestión de recursos humanos (GRH), se ha reconocido que las capacidades humanas ejercen un efecto directo sobre el desempeño eficiente de las organizaciones (Cuesta Santos, 2017). El uso de estrategias y la planificación para lograr un desempeño organizacional constituyen algunos de los principales retos actuales (Lopes Martínez, Marrero Durán et al., 2021), especialmente en lo que respecta a su articulación con los activos intangibles.

La planificación estratégica ha evolucionado a través de enfoques clásicos que han mejorado la eficiencia institucional. Desde el enfoque de diseño de Andrews (1980) y la planificación formal de Ansoff (1970), hasta el posicionamiento de Porter (1980; 1985), estos paradigmas han guiado el futuro organizacional. Modelos como el enfoque de recursos y capacidades de Barney (1991) y el enfoque del aprendizaje de Mintzberg (1994) enfatizan en la adaptación. Herramientas como el *balanced scorecard* de Kaplan y Norton (1992; 1996; 2004), la estrategia del océano azul de Kim y Mauborgne (2005; 2015) y las ventajas transitorias de McGrath (2013) han enriquecido el panorama estratégico.

Paralelamente, la gestión de recursos humanos (GRH) ha propuesto modelos esenciales. Desde el enfoque clásico de Taylor (1911) y Fayol (1918), que se centró en la eficiencia, hasta el enfoque de relaciones humanas de Mayo (1933) y el conductista-motivacional de Maslow (1943), Herzberg (1959) y McGregor (1960), que exploraron el comportamiento humano. El enfoque sistémico de von Bertalanffy (1968) y el estratégico de Wright y McMahan (1992) vincularon la GRH con objetivos organizacionales. Autores como Chiavenato (2009), Dávila y Elvira (2015) y Alles (2006) consolidaron la disciplina. La industria 4.0 aún desafía la articulación plena entre recursos humanos, estrategia e indicadores de gestión (Cuesta Santos, 2017; Gálvez Fernández et al., 2020), demandando mayor interconexión y sostenibilidad tecnológica. Reconocer a las personas como el eje central, dotadas de competencias de alta cognición y con un enfoque orientado a la gestión del conocimiento (Lopes Martínez, Cuesta Santos et al., 2021; Tirado-Gálvez & Heredia Llatas, 2022).

En la era de la industria 4.0, aunque los beneficios de la interconexión en las organizaciones inteligentes, digitalizadas y automatizadas son evidentes, todavía se observa una transición hacia el paradigma de la fabricación inteligente, en lugar de una revolución estructural (Longo et al., 2020). Por tanto, en la práctica organizacional, las estructuras y sistemas aún no se encuentran interrelacionados o interconectados (Cuesta Santos & Lopes Martínez, 2020).

De acuerdo con Cuesta Santos (2020) y Lopes Martínez, Cuesta Santos et al. (2021), el capital intelectual se refiere al valor que se obtiene del conjunto de activos intangibles creados por la empresa a partir del conocimiento humano desarrollado en la organización. El valor generado por estos activos es furtivo, ya que no se refleja directamente en los libros contables, debido a la ausencia, en el pasado, de normativas jurídicas y financieras que permitieran su inclusión en los balances anuales. Por esta razón, muchas empresas desconocían el valor que perdían anualmente (Bórras Atiénza & Campos Chaurero, 2013). Según Mirjami Eklund (2020) y Aldama López et al. (2022), las capacidades de conocimiento de los empleados, la creatividad, la innovación, así como la estructura organizativa, pueden considerarse capital intelectual, debido a la conversión del conocimiento implícito de los empleados en conocimiento explícito de la organización.

Delgado Fernández (2022) y Montané Marsal (2021) reconocen la particularidad humana de crear valor, a partir de aplicar el conocimiento en función de un mejor desempeño. Dentro del componente de capital humano del capital intelectual se encuentran los activos intangibles psicosociales (AIP), definidos como producciones del conocimiento humano y construcciones sociales subjetivas. Estos se expresan mediante comportamientos contextuales en forma de cualidades o capacidades percibidas y evaluadas externamente, con el potencial de generar valor futuro para las organizaciones, y se manifiestan de forma articulada con los sistemas en los que se desarrollan.

Son válidas las características de los activos intangibles establecidas por Kaplan y Norton (2004), quienes sostienen que poseen un valor indirecto, contextual, potencial y expresado de forma agrupada. Por ello, deben ser considerados desde una perspectiva holística. En este sentido, autores como Bórras Atiénza y Campos Chaurero (2013), Cuesta Santos (2020) y Montané Marsal (2021) coinciden en que, en la dinámica organizacional, estos activos se manifiestan en una interacción dialéctica y relacional. Es necesario estudiar su integridad y analizarlos como una expresión interconectada con los sistemas en los que se desarrollan.

Cuesta Santos (2020) y Lopes Martínez et al. (2022) sostienen que las competencias individuales de alto valor cognitivo se transforman en competencias distintivas para la organización, estableciendo vínculos con el capital relacional al determinar las formas de interacción con clientes, proveedores y otros actores externos. El desafío consiste en adaptarse a entornos laborales digitales interconectados, según lo demanda la

industria 4.0 y la era de la inteligencia artificial (Pérez-Rojas, 2020). Guzmán Villavicencio et al. (2020) y Gálvez Fernández et al. (2020) coinciden en que, aunque la literatura analiza las dimensiones del capital intelectual de forma separada, en la práctica estas se expresan de manera interconectada.

Autores cubanos han enfatizado la necesidad de una planificación estratégica de la gestión del capital humano basada en activos intangibles. En este contexto global, la norma ISO 30414 Directrices para la información sobre capital humano interno y externo (International Organization for Standardization, 2018), provee estándares para medir y reportar el capital humano, con métricas clave para la toma de decisiones.

En Cuba, a principios de los 2000, se elaboraron una serie de normas ISO relacionadas con el capital humano, específicamente las normas cubanas 3000, 3001 y 3002 (Oficina Nacional de Normalización, 2007a, 2007b, 2007c). Aunque fueron derogadas en 2017 (mediante la resolución 18 / 2017, expedida por el Instituto de Normalización de Cuba), fueron pioneras al centrar su modelo en las competencias laborales y articular diversos subsistemas de recursos humanos, como comunicación y evaluación del desempeño. Contribuciones significativas incluyen el modelo de gestión integrada de capital humano de Morales Cartaya (2009), enfocado en competencias y comunicación, y el de Soltura (2009) para instituciones financieras, que combinó perfiles por competencias con indicadores. Pérez (2011) también innovó al calcular un índice general de activo intangible en empresas cubanas de proyecto.

El modelo de gestión integrada de recursos humanos de Cuesta Santos y Valencia Rodríguez (2014) propuso un ciclo de diagnóstico, planeación y control, alineado con la estrategia organizacional e incorporando referentes como el cuadro de mando integral (CMI) de Kaplan y Norton (2004). Posteriormente, su modelo de evaluación de desempeño (Cuesta Santos et al., 2017) articuló la GRH con los procesos clave de Morales Cartaya (2009), integrando indicadores tangibles e intangibles. Estos desarrollos se complementan con visiones de Werther y Davis (1992), Harper y Lynch (1992), Beer et al. (1984; 2011) y Chiavenato (2009), quienes conciben la administración de personas como un sistema interdependiente y crucial para la eficiencia.

En el contexto de organizaciones inteligentes e interconectadas, la planificación se vuelve esencial para promover la sostenibilidad y ambientes de trabajo eficientes (Lopes Martínez et al., 2022). Aldama López et al. (2022) sostienen que los compromisos y objetivos definidos permiten a la organización involucrarse plenamente. El objetivo de la planificación es establecer metas claras para cada unidad. Si estas se alcanzan, se reconoce que se avanza en la dirección deseada, como resultado de un sistema formal de planeamiento estratégico.

Según Smith Cavalié (1997), la planificación estratégica comprende un conjunto de actividades formales que conducen a la proyección estratégica, a partir de la cual se

conforma un sistema de planificación que genera una creciente demanda de información por parte de las distintas unidades organizacionales. El estado del arte evidencia la correlación entre los AIP y su influencia positiva en el desempeño organizacional (Montané Marsal & Cuesta Santos, 2023), especialmente en el ámbito de la gestión del capital humano y la economía del conocimiento. Delgado Fernández (2022) señala que aún no se ha consolidado una teoría clara sobre cómo identificar, medir e informar el capital intelectual, lo que requiere investigación científica.

Asiaei et al. (2018) encontraron que los activos intangibles que conforman el capital intelectual están asociados indirectamente con el desempeño organizacional y los sistemas de evaluación de desempeño. Monteiro et al. (2017) indicó que las capacidades dinámicas, la orientación empresarial y los recursos intangibles actúan como catalizadores de los resultados. Montané Marsal y Cuesta Santos (2023) afirman que “la estrategia de recursos humanos tiene necesariamente que estar orientada a aportar el capital humano y el conocimiento necesario para hacer cumplir esos objetivos, esas metas” (p. 415). Implementar ejercicios de planificación estratégica centrados en los activos intangibles representa una decisión de alto valor. En la institución financiera cubana objeto de estudio, se ha identificado una situación problemática derivada de los resultados obtenidos en la evaluación del desempeño organizacional. Dicha evaluación, realizada a partir de un enfoque mixto que integró indicadores tangibles e intangibles (incluyendo resultados de eficiencia económica, cumplimiento de objetivos estratégicos, gestión integrada del capital humano y evaluación de activos intangibles), evidenció deficiencias relevantes.

Entre las principales dificultades detectadas se encuentran: la debilidad en los procesos de comunicación institucional, una organización del trabajo ineficiente, la ausencia de una gestión por competencias efectiva en el proceso de reclutamiento, limitaciones en los mecanismos de autocontrol y un nivel estratégico evaluado como regular. Estas carencias afectan directamente la capacidad de la organización para desarrollar un desempeño laboral positivo.

Las condiciones señaladas reflejan una insuficiente articulación entre la gestión de los activos intangibles psicosociales (AIP) y la estrategia institucional, así como con los modelos de gestión del conocimiento previamente diseñados. Esta desarticulación restringe el desarrollo organizacional, dificulta la evolución de factores internos y externos, y limita la posibilidad de gestionar intangibles psicosociales críticos vinculados al desempeño organizacional, tales como las competencias laborales de alto valor cognitivo, el compromiso, la satisfacción, el liderazgo y la percepción de perspectivas.

A partir de este análisis, se formula el siguiente problema científico: ¿cómo construir un modelo conceptual que articule las relaciones entre la gestión de los activos intangibles psicosociales y la gestión de recursos humanos, en el marco de la planeación estratégica y el alineamiento estratégico?

Se plantea como hipótesis general: el diseño de implementación de un modelo conceptual que articule la gestión de los activos intangibles psicosociales y sus subvariables: competencias laborales (CL), percepción de pertenencia (PP), satisfacción laboral (SL), liderazgo (L) y compromiso (C), en el marco de la planeación estratégica de recursos humanos y alineado a la estrategia, tiene un efecto positivo en el desempeño (Z) organizacional del sector bancario.

H_0 : El diseño e implementación de un modelo conceptual que articule la gestión de activos intangibles psicosociales y sus subvariables (CL), (PP), (SL), (L), (C), en un marco de planeación estratégica de recursos humanos y alineado a la estrategia, no tiene un efecto significativo en el desempeño organizacional (Z) en el sector financiero.

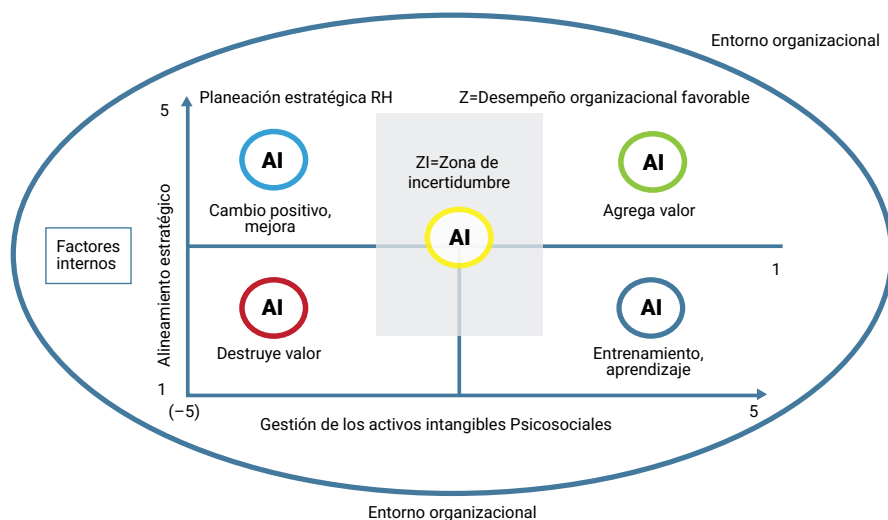
El objetivo del presente estudio es desarrollar un modelo conceptual para la gestión de AIP en el Banco Central de Cuba. El modelo se enmarca en la perspectiva de aprendizaje y crecimiento, bajo la cual los AIP agregan valor a la organización mediante la mejora del desempeño organizacional. A la vez, describe la gestión de los AIP en un entorno de planificación estratégica de recursos humanos, mostrando su efecto sobre el desempeño organizacional. Su construcción se basa en la revisión de 35 modelos nacionales e internacionales sobre capital intelectual, cuyo análisis permitió identificar brechas y proponer elementos novedosos. Las matrices construidas facilitaron dicho estudio.

El modelo se conforma a partir de la variable independiente AIP, compuesta por cinco subvariables: liderazgo (L), clima laboral (CL), comunicación (C), satisfacción laboral (SL) y percepción de pertenencia (PP). Asimismo, se consideran la planificación estratégica de recursos humanos (PERH) y el alineamiento estratégico (AE), estableciendo su relación con los AIP y su efecto sobre el desempeño organizacional como variable dependiente.

El modelo toma como referencia el procedimiento para la evaluación del alineamiento estratégico propuesto por Comas Rodríguez et al. (2022) y se basa en el modelo relacional de Montané Marsal (2020a) y Montané Marsal y Cuesta Santos (2023). Se identifican correlaciones indirectas entre los activos intangibles y se valora su efecto sobre la estrategia organizacional y la generación de valor (ver Figura 1).

Figura 1

Relación entre los AIP y la gestión y el alineamiento estratégico de recursos humanos



El modelo propuesto establece el alineamiento estratégico como un indicador determinante del desempeño organizacional, por lo que su evaluación resulta esencial. Para determinar el grado de alineamiento estratégico se deben analizar elementos como la misión, visión, objetivos estratégicos de la organización y de la gestión de recursos humanos, así como las variables y acciones estratégicas involucradas.

A mayor nivel de gestión de activos intangibles psicosociales (GAIP) y planeación estratégica de recursos humanos (PERH), mayores serán los resultados en términos de desempeño organizacional, dado que ambos factores contribuyen de forma sinérgica a la creación de valor.

Cálculo del GAIP: el GAIP se calcula como el promedio de los índices obtenidos por cada uno de los activos intangibles psicosociales evaluados (en una escala de 1 a 5). Ver fórmula 1.

$$iCL+iSL+iL+iPP+iC=\frac{\sum I \text{ GAIP}}{5} = \text{GAIP} \quad (1)$$

En esta fórmula:

iCL: índice de competencias laborales

iSL: índice de satisfacción laboral

iL: índice de liderazgo

iPP: índice de percepción de perspectivas

iC: índice de compromiso

Cálculo del PERH: el índice de planeación estratégica de recursos humanos (PERH) se obtiene a partir de la evaluación por juicio de expertos, considerando el grado de alineación estratégica entre los objetivos organizacionales y los de la gestión de recursos humanos.

Descripción de los cuadrantes del modelo

1. GAIP (-) | PERH (-)

Relación: baja gestión de activos intangibles psicosociales y baja planeación estratégica de recursos humanos.

Interpretación: la organización se encuentra en una posición de pérdida de valor. Existen escasas oportunidades de mejora y el desempeño organizacional está comprometido.

2. GAIP (-) | PERH (+)

Relación: baja gestión de activos intangibles psicosociales, pero alta planeación estratégica de recursos humanos.

Interpretación: se denomina *posición de cambio positivo*. Existen condiciones favorables para iniciar una gestión efectiva de los activos intangibles, aunque actualmente no se están generando beneficios tangibles. La alineación estratégica está presente, pero no se ha materializado en una gestión efectiva de los AIP.

3. GAIP (+) | PERH (-)

Relación: alta gestión de activos intangibles psicosociales, pero baja planeación estratégica.

Interpretación: cuadrante denominado *zona de entrenamiento*. Aunque los AIP están siendo gestionados y se genera conocimiento organizacional, la falta de alineamiento estratégico limita su impacto en el desempeño. Representa una oportunidad de transformación futura.

4. GAIP (+) | PERH (+)

Relación: Alta gestión de activos intangibles psicosociales y alta planeación estratégica de recursos humanos.

Interpretación: Este cuadrante representa un escenario de eficiencia estratégica, en el que los activos intangibles generan valor agregado y se evidencia un comportamiento organizacional orientado al alto desempeño.

Zona de incertidumbre (ZI)

La zona de incertidumbre (ZI) se representa en color gris dentro de la matriz y abarca los valores considerados como regulares (entre 2,5 y 3,0) tanto en GAIP como en PERH. Esta

zona refleja un estado transicional en el que la organización aún no ha consolidado una gestión efectiva de los AIP ni un alineamiento estratégico claro.

La ZI debe interpretarse como una etapa potencialmente positiva, en la medida en que se implementen acciones de mejora que permitan escalar hacia niveles superiores de gestión y alineación. Cuando se cruza en una zona próxima al cuadrante más positivo de ambas variables, se estima un desarrollo potencial de la organización.

El modelo conceptual que se propone es original, e integra variables psicosociales en un solo modelo articulado con la planeación estratégica, demostrando científicamente su relación.

Además, responde a una necesidad detectada en el estado del arte: la falta de metodologías que midan y gestionen estos activos con un enfoque específico para el contexto cubano, lo que genera un nuevo conocimiento aplicable a otras investigaciones, en economías similares. También, introduce un enfoque metodológico al combinar técnicas y métodos: método Delphi, AHP, coeficientes estadísticos (Kendall, Cronbach, Pearson) y el uso de un cuestionario adaptado y validado, lo que fortalece la confiabilidad y validez de los hallazgos.

Posee un impacto social significativo, pues coloca a las personas en el centro de su gestión y tiene en cuenta los aspectos psicosociales necesarios para el bienestar de los trabajadores. Lo anterior potencia la capacidad de la banca central para adaptarse a desafíos económicos y sociales complejos, mediante una mejor gestión del capital humano. Y, por último, en cierta manera, ayuda a alinear los intereses individuales de los trabajadores con los objetivos estratégicos de la organización, contribuyendo a la eficiencia y efectividad de la institución, lo que puede impactar positivamente en la economía nacional, sobre todo por ser un ente asesor del Estado.

METODOLOGÍA

Para la validación del modelo conceptual se realizó una investigación transversal descriptiva en el periodo de enero a noviembre del 2024. Se seleccionó un grupo de expertos de la institución, compuesto por los directivos con entre siete y treinta años de experiencia bancaria y entre tres y diecisiete años de experiencia en el cargo. Se trabajó con una estimación de error estándar de 0,1 y un nivel de precisión de 0,1, alcanzando un nivel de fiabilidad del 99 %. Se seleccionaron un total de quince expertos para el levantamiento de la información necesaria y para la validación de las contribuciones que se proponen en el modelo conceptual de referencia.

Se establecieron dinámicas de trabajo, utilizando el método Delphi y el de jerarquías analíticas, con el propósito de evaluar elementos clave de la planeación estratégica de recursos humanos (PERH), vinculados al estado y la gestión de los activos intangibles

psicosociales (AIP). La validación comprendió once pasos metodológicos, los cuales se describen posteriormente.

La aplicación del modelo tuvo lugar en una institución financiera cubana. Se analizó la población para determinar el tamaño de la muestra, compuesta por trabajadores de la institución financiera. Se utilizó un muestreo intencional u opinático, refiriendo como criterios de inclusión muestral el ser trabajador bancario y contar con más cinco años de experiencia en el sector.

Se tomó para un 99 % de P, un error estándar de 0,001= S estimado, y una población N de 765 trabajadores que cumplen con los requisitos de inclusión muestral, se definió la varianza V del valor de la población. Se calculó el subconjunto de población n, y se obtuvo un total de 447. De ellos, fueron seleccionadas 375 personas que aceptaron participar voluntariamente en la investigación.

Paso 1. Evaluación preliminar del alineamiento estratégico

En una primera fase, se conformó un grupo de expertos y se aplicó una escala tipo Likert de 5 puntos para evaluar el grado de alineamiento de la PERH con la estrategia institucional, conforme a los criterios de Hernández-Sampieri (2018). Los expertos asignaron puntuaciones del 1 (muy bajo alineamiento) al 5 (muy alto alineamiento) a cada uno de los elementos estratégicos.

Paso 2. Método Delphi ponderado

Se aplicó el método Delphi ponderado por rondas (Cuesta Santos y Valencia Rodríguez, 2014) al grupo de expertos, con el objetivo de consensuar los juicios emitidos por los expertos. El índice de concordancia (Cc) se calculó mediante la fórmula (2):

$$Cc = (1 - Vn/Vt) \times 100 \quad (2)$$

En dicha fórmula, Vn representa el número de expertos en desacuerdo y Vt el total de expertos consultados.

Paso 3. Matriz de impacto estratégico

Se construyó una matriz de impacto para evaluar la correspondencia entre la misión, visión y objetivos estratégicos institucionales y los de la PERH. A partir de esta matriz, se calcularon medias ponderadas que permitieron identificar el grado de representación de los objetivos estratégicos, clasificándolos en alta (valores cercanos a 5) o baja representación (valores cercanos a 1).

Paso 4. Comparación de objetivos mediante AHP

Se aplicó el método *analytic hierarchy process* (AHP), siguiendo la escala de Saaty (2008), para realizar comparaciones pareadas entre objetivos estratégicos y objetivos de la PERH. Las puntuaciones asignadas por los expertos oscilaron entre 1 (igual importancia) y 9 (importancia extrema de un objetivo sobre otro).

Paso 5. Cálculo de pesos relativos

La ponderación de los objetivos se realizó utilizando el modelo de comparación pareada y el triángulo de Füller (Comas Rodríguez et al., 2022). Se construyó una matriz cuadrada de comparaciones, calculando los pesos relativos mediante la fórmula 3:

$$W_a = \frac{\sum_{b=1}^n Q_{ab}}{\sum_a \sum_{b=1}^n Q_{ab}} \quad (3)$$

En tal fórmula:

W_a : representa el Peso del indicador a.

Q_{ab} : representa el grado de importancia del indicador a con respecto al b.

n: representa el número total de indicadores.

Paso 6. Índice de razón de consistencia

Se evaluó la consistencia de los juicios de expertos a través del cálculo del índice de razón de consistencia (CR), el cual —para ser aceptado— debía ser igual o menor a 0,10. Los índices empleados fueron:

Índice de consistencia (CI):

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

Índice de consistencia aleatoria (RI):

$$RI = \frac{1.98 \times (n - 2)}{n} \quad (5)$$

Índice de razón de consistencia:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (6)$$

Paso 7. Índice de alineamiento estratégico

A partir de los pesos relativos y las medias de valoración de los expertos, se calculó el índice de alineamiento estratégico (IAE) mediante la fórmula:

$$IAE = \sum (O_{ei} \times PO_{ji}) \quad (7)$$

En la fórmula, O_{ei} representa la media de valoración del objetivo estratégico i , y PO_{ji} el peso relativo asignado por los expertos. Los resultados se clasificaron en categorías de alto, medio o bajo alineamiento (Comas Rodríguez et al., 2022).

Paso 8. Representación gráfica en cuadrantes

Se construyó un gráfico de dispersión en el que se representó, en el eje X, el valor del objetivo estratégico institucional y en el eje Y el de la PERH. La intersección de ambos valores permitió ubicar el alineamiento estratégico en uno de los siguientes cuadrantes: muy alto, alto, medio, bajo o muy bajo.

Paso 9. Evaluación de activos intangibles psicosociales

Para diagnosticar el estado de los AIP, se aplicó un instrumento validado por los profesores de la Universidad de la Habana, Smith y Ávila (2005), adaptado por Montané Marsal (2020b), el cual evalúa cinco dimensiones: liderazgo (L), compromiso (C), satisfacción laboral (SL), percepción de perspectivas (PP) y competencias laborales (CL). La escala de respuesta fue tipo Likert de 1 (estado muy desfavorable) a 5 (estado muy favorable).





Paso 10. Análisis de fiabilidad y correlación

Se evaluó la fiabilidad del instrumento a través del coeficiente alfa de Cronbach, y el grado de concordancia entre expertos se verificó mediante el coeficiente de Kendall. Asimismo, se calculó el coeficiente de correlación de Pearson para analizar la relación entre las dimensiones de los AIP.

PASO 11. TÉCNICA DE SEMAFORIZACIÓN

Los resultados del diagnóstico se categorizaron mediante la técnica de semaforización, lo que facilitó su interpretación y permitió identificar niveles de gestión (ver Tabla 2).

Tabla 2
Criterios para interpretar el estado de los activos intangibles psicosociales

| Estado actual AIP | | Rango | |
|-------------------|---------------------------------------|-------|---|
| Muy bien | Muy favorable al desempeño | 4 a 5 |  |
| Bien | Favorable con elementos desfavorables | 3 a 4 |  |
| Regular | Desfavorable con elementos favorables | 2 a 3 |  |
| Mal | Muy desfavorable al desempeño | 1 a 2 |  |

Estos resultados permitieron establecer recomendaciones para la mejora continua e incorporar acciones específicas dentro del plan estratégico de gestión de recursos humanos.

RESULTADOS

El grupo de expertos realizó un análisis documental de los principales instrumentos de gestión institucional, incluyendo los documentos de planeación estratégica. Este análisis abarcó el contexto estratégico, la cadena de valor, la misión y visión organizacional, las competencias clave, los atributos institucionales y los objetivos estratégicos de gestión de recursos humanos. A partir de ello y de evidencias documentales, se construyó una matriz para valorar el grado de alineamiento estratégico.

Posteriormente, se seleccionaron elementos clave para evaluar dicho alineamiento: la misión (M1, M2), visión (V1, V2), variables estratégicas (VE1, VE2) y acciones estratégicas (AE1, AE2), tanto de la estrategia institucional como de la de recursos humanos. Para estimar en qué medida esta última se encuentra alineada con la estrategia institucional, se calculó el promedio de los juicios de valor (Rj), cuyos resultados se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3
Resultados del grado de representación de ambas estrategias

| Tipo de estrategia | Aspecto que contiene | Rj | Cc |
|------------------------|-----------------------------------|------|------|
| Planeación estratégica | Misión (M1, M2) | 3,18 | 60 % |
| | Visión (V1, V2) | 3,30 | 61 % |
| | Variables estratégicas (VE1, VE2) | 3,30 | 60 % |
| | Acciones estratégicas (AE1, AE2) | 3,20 | 63 % |

El valor $R_j=3,18$, correspondiente a la misión, evidencia un alto grado de representación de los elementos estratégicos institucionales dentro de la misión de la gestión de recursos humanos. Asimismo, se obtuvo un valor de $R_j=3,3$ para la visión, lo que indica una alta coherencia estratégica.

El valor de $R_j=3,30$ para las variables estratégicas indica un alto grado de representación entre ambas estrategias. En cuanto a las acciones estratégicas, se obtuvo un valor de $R_j=3,2$, también ubicado en el rango de alta representatividad. En consecuencia, puede afirmarse que existe un alineamiento estratégico alto entre la estrategia institucional y la del área de recursos humanos, lo que refleja una práctica de planeación coherente y favorable para el desempeño organizacional.

Con el objetivo de profundizar en el análisis, los expertos procedieron a examinar los objetivos estratégicos de ambas estrategias. A partir de la ponderación de sus juicios de valor, se elaboró una matriz de impacto y se calcularon las puntuaciones promedio para cada tipo de objetivo (véase Tabla 4).

Tabla 4

Matriz de impacto entre los objetivos estratégicos de recursos humanos y los institucionales

| Objetivos estratégicos de recursos humanos (OERH) | Objetivos estratégicos institucionales (OEI) | | | | | | | |
|---|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|
| | Obj. 1 | Obj. 2 | Obj. 3 | Obj. 4 | Obj. 5 | Obj. 6 | Obj. 7 | |
| obj.rh.1 | 4,8 | 4,6 | 3,2 | 4,0 | 4,6 | 4,0 | 5,0 | 4,3 |
| obj.rh.2 | 4,8 | 4,8 | 3,2 | 3,8 | 3,6 | 4,0 | 4,6 | 4,1 |
| obj.rh.3 | 3,8 | 3,8 | 2,6 | 2,8 | 3,2 | 3,2 | 4,6 | 3,4 |
| obj.rh.4 | 4,6 | 4,8 | 3,2 | 3,8 | 3,4 | 3,8 | 4,8 | 4,1 |
| | 4,5 | 4,5 | 3,1 | 3,6 | 3,7 | 3,8 | 4,8 | 4,0 |

Los resultados indican que tres de los objetivos de recursos humanos presentan un impacto muy alto y solo uno un impacto alto sobre los objetivos estratégicos institucionales. El promedio general de 4,0 refleja una correspondencia favorable entre las estrategias, en términos de alineamiento con el desempeño organizacional. De manera específica, el objetivo 1 impacta significativamente en los objetivos estratégicos institucionales 1, 2, 5 y 7, mientras que el objetivo 4 presenta un impacto alto sobre los objetivos 1, 2 y 7. El objetivo 2 de recursos humanos impacta sobre el objetivo 1, 2 y 7 de forma significativa. El objetivo 3 mantiene una influencia aceptable, con un promedio de 3,4.

Posteriormente, se elaboró la matriz de pesos mediante el método AHP de comparaciones pareadas. Cada experto asignó valores de importancia relativa a los objetivos, lo que permitió construir una matriz cuadrada y calcular los índices de consistencia. El índice de alineamiento estratégico resultante fue de 4,4 (véase la Tabla 5).

Tabla 5
Índice de alineamiento de los objetivos estratégicos de la banca central

| Número | Objetivo estratégico | Media | Peso | Índice de alineamiento |
|------------------------------------|--|---------|---------|------------------------|
| Obj. 1. | Perfeccionar la política monetaria y la institucionalidad del entorno monetario cubano. | 4,66667 | 0,23473 | 1,1 |
| Obj. 2. | Fortalecer la supervisión y regulación de las instituciones financieras, mediante el enfoque basado en riesgos, para contribuir a la estabilidad financiera del SBFN. | 4,58333 | 0,17003 | 0,8 |
| Obj. 3. | Proveer el circulante y otros medios de pago necesarios para el financiamiento de la economía en forma oportuna, eficiente y confiable, con sustento en el marco legal correspondiente. | 2,91667 | 0,04134 | 0,1 |
| Obj. 4. | Renegociar la deuda externa en correspondencia con las prioridades y posibilidades reales del país y gestionar nuevos financiamientos. | 3,41667 | 0,03998 | 0,1 |
| Obj. 5. | Contribuir al desarrollo del sistema de prevención y enfrentamiento al lavado de activos, el financiamiento al terrorismo y a la proliferación de armas de destrucción masivas. | 4,16667 | 0,23000 | 1,0 |
| Obj. 6. | Incrementar los niveles de automatización de los sistemas informáticos de los procesos clave y fortalecer la infraestructura tecnológica según la estrategia de automatización aprobada. | 4,16667 | 0,12760 | 0,5 |
| Obj. 7. | Satisfacer la demanda de capital humano de la institución, priorizando los cargos claves. | 4,83333 | 0,15634 | 0,8 |
| Índice de alineamiento estratégico | | | | 4,4 |

Los objetivos estratégicos relativos a los recursos humanos también fueron evaluados por su consistencia. El índice de consistencia (CI) obtenido fue de 0,03, con un índice aleatorio (RI) de 0,99 y un índice de consistencia razonable (CR) de 0,03, valores aceptables para este tipo de análisis (ver la Tabla 6).

Tabla 6*Índice de alineamiento de los objetivos de recursos humanos*

| Número | Objetivo estratégico | Media | Peso | Índice de alineamiento |
|------------------------------------|---|---------|---------|------------------------|
| ObjErh. 1. | Lograr una gestión de recursos humanos superior, capaz de atraer y retener al personal requerido, para el desempeño de los cargos. | 4,38095 | 0,32813 | 1,4 |
| ObjErh. 2. | Elevar la gestión de los procesos de selección del personal, a través de convocatorias, convenios de colaboración con centros de estudios y universidades, garantizando celeridad y profundidad en la evaluación de los candidatos más idóneos para el cargo. | 4,00000 | 0,18229 | 0,7 |
| ObjErh. 3. | Continuar con el diseño de los perfiles de competencias de los cargos de los procesos de las actividades principales de la organización, según el mapa de proceso del BCC. | 2,47619 | 0,24479 | 0,6 |
| ObjErh. 4. | Elevar la gestión de la formación y capacitación planificada de los trabajadores en temas de banca central, política macroeconómica, mercados, sistemas, servicios y productos financieros y en las nuevas tecnologías. | 2,80952 | 0,24479 | 0,7 |
| Índice de alineamiento estratégico | | | | 3,5 |

Ambos índices fueron representados en una matriz de cruce, en la cual los valores de $x=3,5$ (estrategia de RH) e $y=4,4$ (estrategia institucional) se ubican en el cuadrante de alineamiento “muy alto”, lo que indica una sólida correspondencia estratégica. Finalmente, para el análisis de los activos intangibles psicosociales, se realizó una selección muestral rigurosa con un nivel de confianza del 99 %, error estándar de 0,001 y una población total de 563 trabajadores. La muestra quedó finalmente conformada por 371 participantes que cumplieran los criterios establecidos.

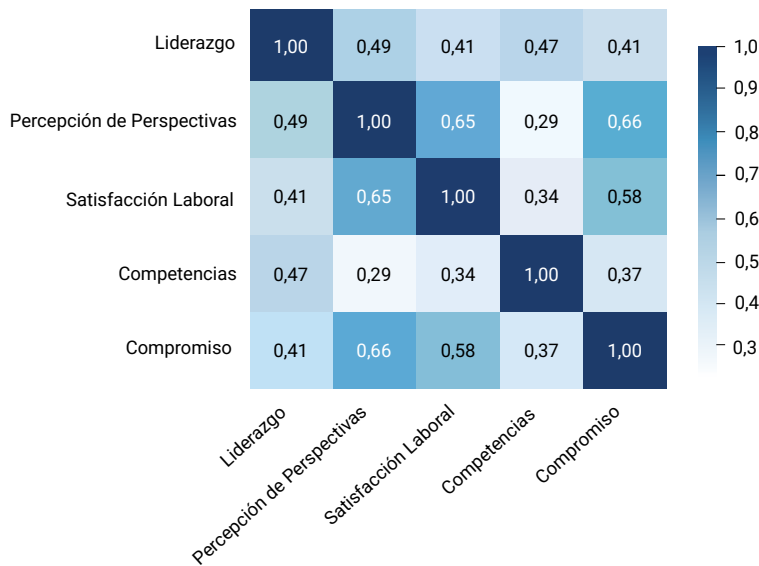
El análisis de correlación de Pearson arrojó resultados significativos al nivel 0,01. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Cuesta Santos (2005, 2017, 2020), Bernal González et al. (2021), Rodríguez Manrique y Sánchez Moreno (2020), quienes confirman la existencia de correlaciones positivas entre liderazgo, percepción de perspectiva, satisfacción laboral, competencias laborales y compromiso organizacional.

Se observaron correlaciones positivas con magnitud de moderada a alta, particularmente entre percepción de perspectiva, satisfacción laboral, liderazgo y compromiso. La correlación más baja, aunque aún positiva, se detectó entre la percepción de perspectiva y las competencias laborales.

Estos resultados consolidan la relevancia de los activos intangibles psicosociales como factores clave para el desempeño organizacional. Ver Figura 2.

Figura 2

Matriz de correlación de Pearson entre los activos intangibles psicosociales



En la Tabla 7 se presentan los resultados obtenidos tras la aplicación del cuestionario adaptado de Montané Marsal (2020b) para este estudio, evidenciándose el impacto que tienen los activos intangibles psicosociales (AIP) en el contexto organizacional. De manera particular, se identificó que la satisfacción laboral (SL) constituye el activo con la gestión menos favorable. A pesar de que existen percepciones positivas sobre algunos aspectos asociados a este constructo, se sugiere la necesidad de encaminar acciones estratégicas orientadas a su mejora (ver la Tabla 7).

Tabla 7

Resultados del estado de los activos intangibles psicosociales evaluados

| Activos Intangibles Psicosociales | Media | Resultado |
|-----------------------------------|-------|-----------|
| Compromiso (C) | 3,37 | Bien |
| Competencias laborales (CL) | 3,37 | Bien |
| Satisfacción laboral (SL) | 2,99 | Regular |
| Percepción de perspectivas (PP) | 3,26 | Bien |
| Liderazgo (L) | 3,42 | Bien |

Los activos intangibles psicosociales (AIP) como el compromiso (C), las competencias laborales (CL), la percepción de perspectivas (PP) y el liderazgo (L) mostraron percepciones

predominantemente positivas, destacando el liderazgo con la puntuación más alta (3,42). Esto indica una gestión favorable y un posible impacto positivo en el desempeño organizacional.

Al combinar los datos del cuestionario con las ponderaciones de expertos, se calculó la media y se aplicó el coeficiente Rho de Spearman para la prueba de hipótesis. Se obtuvo un coeficiente de correlación de 0,195 con una significancia de 0,015, demostrando una correlación significativa ($p < 0,05$). Con base en esto, se rechaza la hipótesis nula (H_0), lo que permite trabajar con la hipótesis alternativa (H_1). Esto implica que el diseño de un modelo conceptual que articule la gestión de AIP dentro de una planeación estratégica de recursos humanos, alineada a la estrategia organizacional, puede impactar positivamente el desempeño organizacional.

DISCUSIÓN

Kaplan y Norton (2004), Montané Marsal (2020a), Montané Marsal y Cuesta Santos (2023) aportaron evidencia científica que permitió afirmar que es posible estudiar los intangibles de forma agrupada. En este estudio se encontró que el activo intangible liderazgo se asoció de forma moderada a fuerte con la satisfacción laboral ($r = 0,40$). Similar a lo encontrado por Notarnicola et al. (2024), Guerrero Bejarano et al. (2021), que obtuvieron coeficientes que oscilaron entre 0,507 y 0,805. La satisfacción laboral mostró correlaciones fuertes con el compromiso organizacional. En estudios distintos, Verenzuela-Barroeta y Salas-Hernández (2024), Quispe Flores y Paucar Sullca (2020) obtuvieron $r=0,608$, $r = 0,792$, similar a lo encontrado en este estudio ($r = 0,57$).

Entre la satisfacción laboral y la percepción de perspectivas ($r = 0,65$), se asociaron valores similares al estudio de Medina Mateu (2019), que obtuvo un coeficiente de $r = 0,527$. Las competencias laborales fueron correlacionadas con el liderazgo al obtener un $r = 0,46$, de acuerdo a lo aportado por Cuesta Santos y Valencia Rodríguez (2014) y Bórras Atiénza y Campos Chaurero (2013). El liderazgo y la satisfacción laboral se relacionan con el desempeño organizacional con un (r)=-0,154, lo que resulta acorde con lo expresado por Guerrero Bejarano et al. (2021).

El análisis agrupado de los activos intangibles psicosociales arrojó un índice global de 3,27 en la escala utilizada del cuestionario aplicado, lo que sugiere una percepción general favorable de su gestión. No obstante, la presencia de elementos con desempeño desfavorable, principalmente relacionados con la satisfacción laboral, confirma la pertinencia de fortalecer la gestión de estos activos como parte integral del sistema de gestión de recursos humanos. Estas afirmaciones coinciden con lo planteado por Montané Marsal y Cuesta Santos (2023).

En cuanto al grado de alineamiento estratégico entre la gestión de los activos intangibles psicosociales y la estrategia de recursos humanos, se construyó una matriz que integró los

resultados obtenidos teniendo en cuenta lo aportado por Comas Rodríguez et al. (2022), Montané Marsal y Cuesta Santos (2023). El valor ponderado alcanzado para la gestión de los AIP fue de 3,27, clasificado como “alto”, mientras que el alineamiento estratégico obtuvo una puntuación de 3,50, también en la categoría de “alto”. La intersección de ambos valores en la matriz posicionó el resultado dentro de ZI=zona de incertidumbre, cuadrante que indica un alineamiento aceptable, aunque aún con margen para el desarrollo organizacional.

Este cuadrante sugiere que los activos intangibles psicosociales pueden ser potencializados para aportar un mayor valor a la organización, de acuerdo con Cuesta (2017), Marsal (2021) y Bórras Atiénza y Campos Chaurero (2013), siempre que se implementen acciones concretas dirigidas a su fortalecimiento. Asimismo, refleja que existen condiciones organizativas propicias, pues el grado de alineamiento estratégico actual, según Comas Rodríguez et al. (2022), favorece la estimulación y el aprovechamiento efectivo de estos activos.

En consecuencia, el nivel “alto” de alineamiento estratégico coloca a la organización en una posición favorable para dinamizar sus estrategias. Sin embargo, se identifican oportunidades de mejora, tanto en el aprovechamiento del entorno como en la capitalización de las fortalezas internas, lo cual corrobora lo encontrado por Cuesta Santos (2020), Lopes Martínez, Cuesta Santos et al. (2021) y Pérez (2011).

En síntesis, la gestión de los activos intangibles psicosociales demanda acciones específicas para consolidar su desarrollo. La organización podría estar desaprovechando oportunidades significativas para elevar su desempeño institucional. En este contexto, el alineamiento estratégico se configura, según Montané Marsal y Cuesta Santos (2023), para impulsar los activos intangibles mediante intervenciones diseñadas para su mejora continua.

CONCLUSIONES

El modelo propuesto demuestra ser una herramienta útil para el alineamiento entre las estrategias institucionales y las de gestión de recursos humanos (GRH), vinculándolas con los activos intangibles psicosociales (AIP) y su impacto en los resultados, lo que confirma la hipótesis. Su aplicabilidad en el sistema bancario financiero cubano representa un aporte significativo al sector.

La investigación reveló una correlación positiva alta entre percepción de perspectivas (PP), satisfacción laboral (SL), liderazgo (L) y compromiso (C), con una fuerte relación entre SL y C. Se observaron correlaciones moderadas entre liderazgo, SL y C, mientras que la asociación entre PP y competencias laborales (CL) fue positiva, pero de menor magnitud. La satisfacción laboral fue el AIP con gestión menos favorable, lo cual afecta el desempeño. Sin embargo, compromiso, CL, PP y liderazgo mostraron percepciones

predominantemente positivas. La matriz de alineamiento y gestión de AIP se estableció como una herramienta efectiva para monitorear el desempeño de la GRH, sentando bases para futuras mejoras. Se recomienda contrastar el modelo con indicadores de desempeño para verificar el efecto potencial de los AIP.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

Naivi Montané Marsal: escritura, borrador original, redacción: revisión y edición, conceptualización, *data curation*, metodología, investigación. **Armando Cuesta Santos:** redacción: revisión y edición, supervisión, conceptualización, visualización.

REFERENCIAS

- Aldama López, O., Delgado Fernández, M., & Díaz-Canel Bermúdez, M. (2022). Metodología de los tableros y cuadro de mando integral en la gestión de gobierno orientada a la innovación. *Revista Cubana de Administración Pública y Empresarial*, 6(3), e236. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7062669>
- Alles, M. A. (2006). *Dirección estratégica de recursos humanos: Gestión por competencias*. Granica.
- Andrews, K. R. (1980). *The concept of corporate strategy*. Richard D. Irwin.
- Ansoff, H. I. (1970). *Corporate strategy*. Penguin.
- Asiaei, K., Jusoh, R., & Bontis, N. (2018). Intellectual capital and performance measurement systems in Iran. *Journal of Intellectual Capital*, 19(2), 294-320. <https://doi.org/10.1108/JIC-11-2016-0125>
- Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 17(1), 99-120. [https://josephmahoney.web.illinois.edu/BA545_Fall%202022/Barney%20\(1991\).pdf](https://josephmahoney.web.illinois.edu/BA545_Fall%202022/Barney%20(1991).pdf)
- Beer, M., Spector, B., Lawrence, P., & Mills, D. Q. (1984). *Managing human assets: The groundbreaking Harvard Business School program*. Free Press.
- Beer, M., Russell A. E., Foote N., Fredberg T., & Norgreen F. (2011). *Higher ambition: How great leaders create economic and social value*. Harvard Business Review Press.
- Bernal González, I., Ruíz Mezquiti, L. A., & Pastrana Zúñiga, J. L. (2021). Compromiso organizacional de profesionales de la salud ante COVID-19. *Universidad y Sociedad*, 13(6), 194-204.

- Bórras Atiénza, F., & Campos Chaurero, L. (2013). La gestión del capital intelectual: un análisis en empresas de la sideromecánica cubana. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*, 10(5) <https://www.eumed.net/rev/caribe/2013/10/gestion-capital-intelectual.html>
- Comas Rodríguez, R., Rivera Segura, G. N., Izquierdo Morán, A. M., & Acurio Armas, J. A. (2022). El alineamiento estratégico y su incidencia en el control de gestión en las organizaciones. *Universidad y Sociedad*, 13(S1), 424-432. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/2052>
- Cuesta Santos, A. (2005). *Tecnología de recursos humanos*. Academia.
- Cuesta Santos, A. (2017). *Gestión del talento humano del conocimiento*. Ecoe.
- Cuesta Santos, A. (2020). Evaluación de la satisfacción laboral según la ISO 9001: 2015. *Cofin Habana*, 14(1). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&id=S2073-60612020000100006
- Cuesta Santos, A., & Lopes Martínez, I. (2020). Hacia las competencias profesionales 4.0 en la empresa cubana. *Revista Cubana de Ingeniería*, 11(1), 66-76. <https://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/view/738>
- Cuesta Santos, A., & Valencia Rodríguez, M. (2014). *Indicadores de gestión humana y del conocimiento en la empresa*. Ecoe.
- Chiavenato, I. (2009). *Gestión del talento humano*. McGraw-Hill.
- Dávila, A., & Elvira, M. (2015). Human resource management in a kinship society: The case of Latin America. En F. Horwitz & P. Budhwar (Eds.), *Handbook of human resource management in emerging markets* (pp. 221-238). Edward Elgar Publishing Limited. <https://doi.org/10.4337/9781781955017.00027>
- Delgado Fernández, M. (2022). Industria 4.0 y competencias en la transformación digital. *Revista Cubana de Administración Pública y Empresarial*, 6(1), e212. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6478087>
- Fayol, H. (1918). *Administration industrielle et générale: Prévoyance, organisation, commandement, coordination, contrôle*. H. Dunod et E. Pinat.
- Gálvez Fernández, A. R., Borrás Atienzar, F., & Abadía Lugo, J. R. (2020). Indicadores de gestión del capital intelectual para la banca comercial. *Retos de la Dirección*, 14(1), 310-336. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&id=S2306-91552020000100310
- Guerrero Bejarano, M. A., Manosalvas Vaca, C., Salvador García, C. R., Carhuanchomendoza, I. M., Malno Isaías, A. A., & Silva Siu, D. R. (2021). La mediación de la satisfacción laboral en la relación del estilo de liderazgo y el compromiso

- organizacional. *Revista de Investigación Apuntes Universitarios*, 11(2), 234-265. <https://doi.org/10.17162/au.v11i2.657>
- Guzmán Villavicencio, M., Martí Marcelo, C. A., Morales Zamora, M., & González Suárez, E. (2020). Gestión de los intangibles a partir de un modelo de capital intelectual en la Ronera Central. *Revista Centro Azúcar*, 47(3), 106-117. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612020000300106
- Harper, D., & Lynch, M. (1992). *Management estratégico y recursos humanos*. La Gaceta de los Negocios.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill.
- Herzberg, F., Mausner, B., & Snyderman, B. B. (1959). *The motivation to work*. John Wiley & Sons.
- International Organization for Standardization. (2018). *ISO 30414: Human resource management—Guidelines for internal and external human capital reporting*. ISO
- Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1992, enero-febrero). The balanced scorecard—Measures that drive performance. *Harvard Business Review*. <https://hbr.org/1992/01/the-balanced-scorecard-measures-that-drive-performance-2>
- Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1996). *The Balanced Scorecard: Translating strategy into action*. Harvard Business School Press.
- Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (2004). *Strategy maps: converting intangible assets into tangible outcomes*. Harvard Business Press.
- Kim, W. C., & Mauborgne, R. (2005). *Blue Ocean Strategy: how to create uncontested market space and make the competition irrelevant*. Harvard Business Review Press.
- Kim, W. C., & Mauborgne, R. (2015). *Blue Ocean Strategy: expanded edition*. Harvard Business Review Press.
- Longo, F., Padovano, A., & Umbrello, S. (2020). Value-oriented and ethical technology engineering in Industry 5.0: a human-centric perspective for the design of the factory of the future. *Applied Sciences*, 10(12), 4182. <https://doi.org/10.3390/app10124182>
- Lopes Martínez, I., Cuesta Santos, A., Neumann, G., Günzel, M., Marrero Durán, S. P., Noya Domínguez, L., Martínez Pérez, E., Cruz Ruiz, A., Machado de Armas, D., & Díaz Pereira, D. (2021). La transformación del talento humano en el marco de la Industria 4.0. *Revista Cubana de Transformación Digital*, 2(2), 118-133. <https://rctd.uic.cu/rctd/article/view/122> ok
- Lopes Martínez, I., Marrero Durán, S. P., Feria Martínez, M. A., Grass Santos, A., Espina Martín, Y., & Lugo Almaguer, A. (2021). Impacto de la Covid-19 en las cadenas de

- suministro globales: caso comercio electrónico. *Revista Cubana de Administración Pública y Empresarial*, 5(1), e153. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5534652>
- Lopes Martínez, I., Cuesta Santos, A., Vilalta Alonso, J., Fleitas Triana, M. S., Delgado Fernández, T., Neumann, G., & Cruz Ruíz, A. (2022). Creando capacidades: hacia la industria 5.0 en la formación de ingenieros industriales. *Revista Cubana de Administración Pública y Empresarial*, 6(2), e230. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6817718>
- Maslow, A. H. (1943). A theory of human motivation. *Psychological Review*, 50(4), 370-396. <https://doi.org/10.1037/h0054346>
- Mayo, E. (1933). *The human problems of an industrial civilization*. Routledge.
- McGrath, R. G. (2013). *The end of competitive advantage: How to keep your strategy moving as fast as your business*. Harvard Business Press.
- McGregor, D. (1960). *The human side of enterprise*. McGraw-Hill.
- Medina Mateu, L. E. (2019). Relación entre satisfacción laboral y estilos de liderazgo en docentes en una institución educativa privada de la ciudad de Trujillo, 2015. *YACHAQ*, 2(1), 1-7. <https://doi.org/10.46363/yachaq.v2i1.84>
- Mintzberg, H. (1994). *The rise and fall of strategic planning: Reconceiving roles for planning, plans, planners*. The Free Press.
- Mirjami Eklund, C. (2020). Why do some SME's become high-growth firms? The role of employee competences. *Journal of Intellectual Capital*, 21(5), 691-707. <https://doi.org/10.1108/JIC-07-2019-0188>
- Montané Marsal, N. (2020a). Effects of intangible assets of human capital on the performance and development of modern Cuban enterprise. *Journal of Human Resource and Sustainability Studies*, 8(2), 185-201. <https://doi.org/10.4236/jhrss.2020.82011>
- Montané Marsal, N. (2020b). Intangible assets that add tangible value and their relationship to the economic efficiency and financial performance of a Cuban enterprise. *International Journal of Engineering, Business and Management (IJEEM)*, 4(5), 73-81. <https://dx.doi.org/10.22161/ijeem.4.5.1>
- Montané Marsal, N. (2021). Effects of intangible assets such as Technology and assertive leadership on efficient systems in a Cuban institution. *International Journal of Advanced Engineering, Management and Science*, 7(3), 62-74. <http://dx.doi.org/10.22161/ijaems.73.9>
- Montané Marsal, N., & Cuesta Santos, A. (2023). Activos intangibles psicosociales y su efecto en el desempeño organizacional de la banca sostenible. *Universidad y Sociedad*, 15(3), 413-425. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/3760>

- Monteiro, A. P., Soares, A. M., & Lima Rua, O. (2017). Linking intangible resources and export performance. The role of entrepreneurial orientation and dynamic capabilities. *Baltic Journal of Management*, 12(3), 329-347. <https://doi.org/10.1108/BJM-05-2016-0097>
- Morales Cartaya, A. (2009). *Capital humano: hacia un sistema de gestión en la empresa cubana*. Editora Política.
- Notarnicola, I., Duka, B., Lommi, M., Grosha, E., De Maria, M., Iacrossi, L., Mastroianni, C., Ivziku, D., Rocco, G., & Stievano, A. (2024). Transformational leadership and its impact on job satisfaction and personal mastery for nursing leaders in healthcare organizations. *Nursing Reports*, 14(4), 3561-3574. <https://doi.org/10.3390/nursrep14040260>
- Oficina Nacional de Normalización. (2007a). *Norma Cubana NC 3001. Sistema de gestión integrada de capital humano – Requisitos*.
- Oficina Nacional de Normalización. (2007b). *Norma Cubana NC 3002. Sistema de gestión integrada de capital humano – Implementación*.
- Oficina Nacional de Normalización. (2007c). *Norma Cubana NC 3000. Sistema de gestión integrada de capital humano – vocabulario*.
- Pérez-Rojas, J. (2020). Retos de las instituciones de la educación superior para su articulación en la Industria 4.0. *Revista CEA*, 6(11), 9-11. <https://doi.org/10.22430/24223182.1584>
- Pérez, T. (2011). *Modelo y procedimientos para medir el capital intelectual en empresas cubanas de proyecto* [Tesis doctoral no publicada, Universidad Central de Las Villas].
- Porter, M. E. (1980). *Competitive strategy: Techniques for analyzing industries and competitors*. Free Press.
- Porter, M. E. (1985). *Competitive advantage: Creating and sustaining superior performance*. Free Press.
- Quispe Flores, R., & Paucar Sullca, S. (2020). Satisfacción laboral y compromiso organizacional de docentes en una universidad pública de Perú. *Revista de Investigación Apuntes Universitarios*, 10(2), 64-83. <https://doi.org/10.17162/au.v10i2.442>
- Rodríguez Manrique, Y. G., & Sánchez Moreno, F. d. C. (2020). *Las competencias laborales y el compromiso organizacional de los trabajadores de la Municipalidad Distrital de Pira* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional de la Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/64435>

- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83-98. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- Smith Cavalié, W. (1997). *Herramientas de planeamiento estratégico*. Centro de Investigaciones Sociales, Económicas y Tecnologías.
- Smith, L., & Ávila A. (2005). *Elaboración de un cuestionario de diagnóstico organizacional* [Tesis de maestría, Universidad de la Habana].
- Soltura, L. (2009). *Gestión del capital humano en instituciones financieras. Un enfoque por competencias con indicadores*. Universidad de La Habana.
- Taylor, F. W. (1911). *The principles of scientific management*. Harper & Brothers.
- Tirado-Gálvez, M. I., & Heredia Llatas, F. D. (2022). Liderazgo transformacional en la gestión educativa: Una revisión de la literatura. Perú. *Revista Conrado*, 18(85), 246-251. <https://conrado.ucf.edu.cu/index.php/conrado/article/view/2283>
- Verenzuela-Barroeta, D., & Salas-Hernández, A. (2024). Satisfacción laboral en el compromiso organizacional: estudio en una institución pública venezolana. *Revista Venezolana de Gerencia*, 29(12), 1714-1730. <https://doi.org/10.52080/rvgluz.29.e12.39>
- Von Bertalanffy, L. (1968). *General system theory: Foundations, development, applications*. Braziller.
- Werther, W. B., & Davis, K. (1992). *Administración de personal y recursos humanos*. McGraw-Hill.
- Wright, P. M., & McMahan, G. C. (1992). Theoretical perspectives for strategic human resource management. *Journal of Management*, 18(2), 295-320. <https://doi.org/10.1177/014920639201800205>

IMPACTO DEL *BALANCED SCORECARD* EN LA COMPETITIVIDAD DE LAS PYMES: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA INTERNACIONAL ENTRE 2019 Y 2024

DAVID URIBE SUAREZ*

<https://orcid.org/0000-0003-4618-8929>

Facultad Ingeniería Industrial, Universidad Antonio Nariño, Colombia

AMANDA RAFAELA GÓMEZ HERRERA

<https://orcid.org/0009-0005-2537-1283>

Facultad Ingeniería Industrial, Universidad Antonio Nariño, Colombia

Recibido: 2 de mayo del 2025 / Aceptado: 11 de julio del 2025

Publicado: 19 de diciembre del 2025

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2025.n049.7907>

RESUMEN. Este artículo presenta una revisión sistemática de la literatura sobre el impacto del *balanced scorecard* (BSC) en la competitividad de las pequeñas y medianas empresas (pymes). Se ejecutó una búsqueda en varias bases de datos académicas reconocidas como Scopus, ScienceDirect, Springer y Semantic Scholar empleando las palabras claves *balanced scorecard* AND SME AND *Competitiveness* para así identificar estudios que fueron publicados entre los años 2019 y 2024, utilizando la metodología Prisma. Se seleccionaron 35 artículos, prevaleciendo aquellos clasificados en Q1 y Q2. Estos estudios muestran un efecto positivo en los resultados del BSC en variantes clave como el desempeño financiero, la satisfacción del cliente, la optimización de procesos internos y, en menor medida, el posicionamiento en el mercado. Así, implementar con éxito el BSC en pymes requiere de adaptaciones contextuales por sus necesidades estratégicas y limitaciones de recursos específicos.

PALABRAS CLAVE: cuadro de mando / competitividad / pymes / desempeño organizacional / revisión sistemática

El proyecto de donde se deriva este artículo es financiado por la Universidad Antonio Nariño.

* Autor corresponsal

Correos electrónicos en orden de aparición: daviduribe246@uan.edu.co; amgomez02@uan.edu.co

Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

IMPACT OF THE BALANCED SCORECARD ON THE COMPETITIVENESS OF SMES: A SYSTEMATIC REVIEW OF INTERNATIONAL LITERATURE BETWEEN 2019 AND 2024

ABSTRACT. This article presents a systematic review of the literature on the impact of the Balanced Scorecard on the competitiveness of small and medium-sized enterprises (SMEs). A search was conducted in several well-known academic databases such as Scopus, ScienceDirect, Springer, and Semantic Scholar, using the keywords Balanced Scorecard AND SME AND Competitiveness to identify studies published between 2019 and 2024, using the PRISMA methodology. Thirty-five articles were selected, with a focus on data to create an index ordered in Scopus and classified in Q1 and Q2 quartiles. These studies show a positive effect of the BSC on key variables such as financial performance, customer satisfaction, internal process optimization, and, to a lesser extent, market positioning. Thus, successfully implementing the BSC in SMEs requires contextual adaptations due to their strategic needs and specific resource constraints.

KEYWORDS: balanced scorecard / competition / MSMEs / organizational performance / systematic review

INTRODUCCIÓN

El desempeño de las micro, pequeñas y medianas empresas (pymes) representa un pilar fundamental para el crecimiento económico y la eficacia de los mercados internacionales. Debido a su estructura, estas organizaciones enfrentan limitaciones de recursos y desafíos significativos para mantenerse sostenibles en entornos altamente dinámicos (Benková et al., 2020). En este contexto, los modelos tradicionales de gestión, centrados exclusivamente en indicadores financieros, resultan insuficientes para capturar la complejidad del desempeño organizacional. Por ello, surge la necesidad de implementar herramientas más integrales, como el *balanced scorecard* (BSC), que permitan alinear la estrategia con el contexto operativo real de las pymes, favoreciendo su sostenibilidad y capacidad competitiva.

El *balanced scorecard* (BSC) es una herramienta de gestión estratégica desarrollada por Kaplan y Norton en la década de 1990, que permite traducir la visión y estrategia de una organización en un conjunto coherente de indicadores de desempeño. Esta herramienta se estructura en cuatro dimensiones fundamentales: la perspectiva financiera, que evalúa la rentabilidad y el uso eficiente de los recursos; la perspectiva del cliente, que mide la satisfacción y lealtad de los usuarios; la perspectiva de procesos internos, que analiza la eficiencia y calidad operativa; y la perspectiva de aprendizaje y crecimiento, que se enfoca en el desarrollo del capital humano y la innovación. Gracias a esta estructura, el BSC ofrece una visión más equilibrada del desempeño organizacional y facilita la toma de decisiones estratégicas.

Así mismo, de acuerdo a las necesidades de las pequeñas y medianas empresas, el *balanced scorecard* (BSC) se ha solidificado como una de las herramientas estratégicas claves que suplen espacios financieros y no financieros en la gestión organizacional (Psarras et al., 2020; Rafiq et al., 2020). Inicialmente desarrollado para grandes empresas, su estudio en pymes ha mostrado el potencial para fortalecer el rendimiento financiero, en cuanto a la eficiencia operativa y la orientación al mercado (Oyewo et al., 2022; Gazi et al., 2022).

En muchos estudios se ha comprobado que la adecuada implementación del *balanced scorecard* en las pymes evidencia una mejora en la sostenibilidad organizacional, optimizando los procesos internos y engrandeciendo el desempeño comercial (Martín-Gómez et al., 2024; Abu-Allan, 2024). Sin embargo, se han encontrado obstáculos relacionados con la disponibilidad de recursos humanos y financieros, y con la necesidad de adaptar el BSC al argumento específico de cada organización (Andrade Arteaga et al., 2020).

De esta manera, las tendencias apuntan a la incorporación de espacios de sostenibilidad, gestión del conocimiento y responsabilidad social dentro de los cuadros de mando, lo

cual incluye un amplio enfoque tradicional (Oliveira et al., 2022; Sorooshian et al., 2020; Vărzaru, 2022). El crecimiento y el fortalecimiento de la competitividad de las pequeñas y medianas empresas establece un objetivo prioritario tanto para los gobiernos como para los sectores productivos, pues es fundamental generar una contribución significativa para el desarrollo de empleo y el desarrollo regional. No obstante, la limitación del crecimiento y de la adaptación se dan por la falta de mecanismos estructurados para un monitoreo estratégico (Dwikat et al., 2022; Amer et al., 2022).

La aplicación del *balanced scorecard* ofrece una alternativa metodológica sólida para que las pymes integren visiones de largo plazo, optimicen su asignación de recursos y mejoren su capacidad de respuesta frente a las exigencias del mercado (Park & Jung, 2025; Rasolofo-Distler, 2022). Al considerar no solo indicadores financieros, sino también dimensiones internas, de clientes y de innovación, el BSC permite alinear las actividades operativas con los objetivos estratégicos de manera sistemática (Rodríguez Montequín et al., 2020; Antonova et al., 2022).

Al mismo tiempo, el *balanced scorecard* (BSC) ha confirmado ser una herramienta flexible, capaz de aplicarse y ser utilizada en contextos muy variados. Un ejemplo claro es cómo se ha utilizado con mucho éxito en procesos de evolución digital (Fabac, 2022), también en proyectos de agricultura sostenible (Chen et al., 2020) y en transformaciones de energías distribuidas como la energía renovable (Carayannis et al., 2022). Esto le demuestra a la población en general que el BSC no solo funciona en grandes empresas tradicionales, sino que también es de mucha importancia en diferentes tipos de organizaciones y sectores económicos.

Por lo tanto, concebir cómo el *balanced scorecard* impacta en la competitividad de las pequeñas y medianas empresas no solo es importante para los investigadores y académicos, sino también para los empresarios, gobiernos y todas esas entidades que diseñan programas de apoyo empresarial. Utilizar adecuadamente esta herramienta puede ser de mucha ayuda para que las pequeñas y medianas empresas mejoren su rendimiento, crezcan de forma sostenible y se adapten mejor a los cambios del mercado. ¿Cuál es el efecto de la implementación del *balanced scorecard* en la competitividad de las pequeñas y medianas empresas (pymes) mediante una revisión sistemática de la literatura?

METODOLOGÍA

Esta revisión sistemática adopta un enfoque metodológico de tipo lógico-inductivo, propio de este tipo de estudios, mediante el cual se parte del análisis particular de múltiples investigaciones empíricas recientes para extraer patrones, regularidades y principios generales sobre el impacto del *balanced scorecard* en la competitividad de las pymes. A través de este enfoque, se busca construir conocimiento fundamentado en la evidencia,

sin imponer supuestos previos, permitiendo una comprensión más profunda y contextualizada del fenómeno estudiado.

Este estudio se llevó a cabo mediante el proceso de una revisión sistemática de la literatura, realizando una búsqueda muy estructurada, con una selección rigurosa y un análisis cualitativo de los datos y la información recolectada. La búsqueda de los diferentes artículos se realizó en diversas bases de datos académicas de reconocimiento internacional, incluyendo Scopus, ScienceDirect, Springer y Semantic Scholar, con el objetivo de garantizar y profundizar la extensión y la calidad de la literatura consultada. La selección priorizó estudios de revistas científicas publicados y clasificados en los cuartiles Q1 y Q2, certificando así el rigor académico de que las fuentes empleadas fuesen veraces. Todas estas estrategias de búsqueda se definieron utilizando la siguiente ecuación de palabras clave: (*balanced scorecard* AND SME AND *competitiveness*), aplicando filtros de publicación reciente (2019-2024) y buscando investigaciones empíricas aplicadas al ámbito corporativo.

Esta combinación de palabras permitió visibilizar los resultados de investigaciones que abordan la implementación del *balanced scorecard* en pequeñas y medianas empresas, examinando su impacto en variables relacionadas con la competitividad. Se realizó la búsqueda en el primer trimestre del 2025, sin restricción geográfica y considerando artículos publicados entre 2020 y 2024.

Los estudios incluidos cumplieron los siguientes criterios:

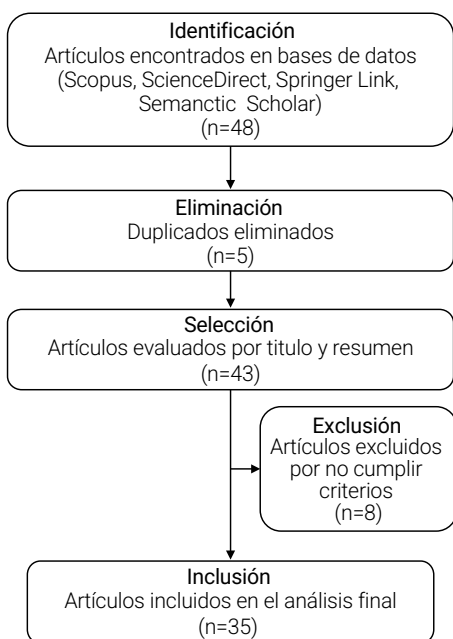
- Estar enfocados en pymes según definiciones estándar (por número de empleados, ingresos o activos).
- Analizar la implementación o uso del *balanced scorecard* como herramienta de gestión estratégica.
- Presentar evidencia empírica mediante métodos cuantitativos, cualitativos o mixtos.
- Evaluar al menos un indicador de competitividad, como rendimiento financiero, eficiencia operativa, satisfacción del cliente, innovación o participación en el mercado.
- Haber sido realizados en entornos reales de negocio.
- Se excluyeron los trabajos que:
- No aplicaban el *balanced scorecard* de manera directa.
- No se realizaron en entornos reales de negocio, siendo puramente teóricos o simulados.

El proceso de selección de estudios siguió las directrices del modelo Prisma 2020 (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). Inicialmente, se identificaron 48 registros mediante la búsqueda en las bases de datos Scopus, ScienceDirect, SpringerLink y Semantic Scholar, utilizando la ecuación de búsqueda mencionada anteriormente en idioma inglés.

Después de eliminar cinco estudios duplicados, se procedió a la revisión de títulos y resúmenes, y ocho registros fueron excluidos por no cumplir con los criterios de inclusión. Posteriormente, se realizó la evaluación del texto completo de 35 artículos, de los cuales todos fueron finalmente incluidos para el análisis cualitativo de la revisión sistemática. El proceso de selección se detalla en la Figura 1, siguiendo el esquema Prisma.

Figura 1

Esquema Prisma para la selección de artículos



De cada artículo seleccionado, se extrajo información relacionada con:

- Diseño de investigación: tipo de estudio (cuantitativo, cualitativo o mixto) y métodos utilizados (por ejemplo, encuestas, estudios de caso, modelado estructural).
- Características de la muestra: sector industrial.
- Factores claves del éxito.
- Resultados de competitividad: efectos observados en indicadores financieros, de procesos internos, de mercado y de sostenibilidad.

RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados de la revisión sistemática de la literatura, organizados en función de los principales enfoques analizados: características de los estudios incluidos, sectores de aplicación, categorías emergentes y efectos del *balanced scorecard* en la competitividad de las pymes. Con este propósito, se realizaron análisis descriptivos de frecuencias, apoyados en representaciones gráficas y tablas resumen como lo muestra la Tabla 1. Esta forma de organización permite identificar los estilos metodológicos, sectores más abordados, los primordiales factores de éxito reportados y todos los impactos observados en variables como desempeño financiero, eficiencia operativa y posicionamiento en el mercado.

Tabla 1
Caracterización de los estudios incluidos en la revisión sistemática

| Autor(es) | Tipo de estudio | Sector | Categorías emergentes | Ubicación geográfica |
|--------------------------------|-------------------|---------------------------|---|----------------------|
| Psarras et al. (2020) | Mixto | Financiero | Gestión estratégica, desempeño organizacional | Grecia |
| Rafiq et al. (2020) | Cuantitativo | Multisectorial | Desarrollo sostenible, desempeño organizacional | Pakistán |
| Ferber Pineyrúa et al. (2021) | Cualitativo | Servicios (pyme) | Gestión del conocimiento, sostenibilidad | Uruguay |
| Oyewo et al. (2022) | Cuantitativo | Manufactura | Eficacia organizacional, uso del BSC | Nigeria |
| Gazi et al. (2022) | Cuantitativo | General | Indicadores internos, sostenibilidad | Turquía |
| Benková et al. (2020) | Cuantitativo | General | Factores del BSC, desempeño empresarial | Eslovaquia |
| Mamabolo & Myres (2020) | Sin especificidad | Empresas sociales | Medición del desempeño, mercados emergentes | Sudáfrica |
| Martín-Gómez et al. (2024) | Cuantitativo | Economía circular | Transformación organizacional, BSC sostenible | España |
| Abu-Allan (2024) | Cuantitativo | Cadena de suministro | Incertidumbre, estrategia, desempeño | Jordania |
| de Souza Machado et al. (2023) | Cuantitativo | Energía (hidroeléctricos) | Evaluación de proyectos, BSC | Brasil |
| Quesado et al. (2022) | Cualitativo | Textil | Gestión estratégica, aplicación del BSC | Portugal |

(continúa)

(continuación)

| Autor(es) | Tipo de estudio | Sector | Categorías emergentes | Ubicación geográfica |
|-----------------------------------|-------------------|------------------------|--|----------------------|
| Oliveira et al. (2022) | Cuantitativo | Exportación | Perspectivas del BSC, desempeño organizacional | Portugal |
| Sorooshian et al. (2020) | Sin especificidad | Pequeñas empresas | Clasificación de sistemas de medición | Malasia |
| Vărzaru (2022) | Cuantitativo | Salud | Desarrollo sostenible, medición del desempeño | Rumania |
| Dwikat et al. (2022) | Cuantitativo | Manufactura (pymes) | Planificación estratégica, innovación | Palestina |
| Amer et al. (2022) | Cuantitativo | Hospitalario | Participación del paciente, evaluación del desempeño | Palestina |
| Park & Jung (2025) | Cuantitativo | Pymes multisectoriales | Liderazgo informatizado, desempeño empresarial | Corea del Sur |
| Rasolofo-Distler (2022) | Cualitativo | Inmobiliario | Presión institucional, selección de indicadores | Francia |
| Rodríguez Montequín et al. (2020) | Cuantitativo | Software | Priorización de factores del BSC | España |
| Arteaga et al. (2020) | Cuantitativo | Petróleo | TQM y desarrollo sostenible con BSC | España |
| Antonova et al. (2022) | Cuantitativo | Hotelería | Gestión de recursos hídricos, sostenibilidad | España |
| Fabac (2022) | Cualitativo | Transformación digital | BSC digital, estrategia tecnológica | Croacia |
| Chen et al. (2020) | Cuantitativo | Agricultura familiar | Desempeño sostenible | China |
| Carayannis et al. (2022) | Cuantitativo | Energía distribuida | Competencias, conocimiento, inversión | Turquía |
| Fatmasari (2020) | Cuantitativo | Educación a distancia | BSC + Six Sigma, calidad del servicio | Indonesia |
| Lin et al. (2023) | Cuantitativo | Salud | Medición del servicio, AHP-DEMATEL | Taiwán |
| Huang et al. (2023) | Sin especificidad | Salud | Comunicación sostenible | Japón |
| Lueg & Carvalho e Silva (2021) | Cualitativo | Multisectorial | Difusión del BSC, diseño organizacional | Alemania / Brasil |
| Pierce (2022) | Sin especificidad | Big Data | Maximización del rendimiento de datos | EE.UU. |

(continúa)

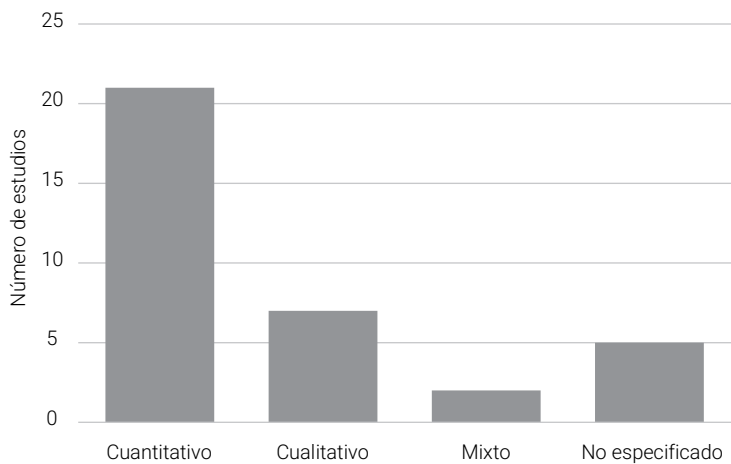
(continuación)

| Autor(es) | Tipo de estudio | Sector | Categorías emergentes | Ubicación geográfica |
|---------------------------------|------------------|--|---|----------------------|
| Ashfahany et al. (2024) | Mixto | ONG educativa | Evaluación organizacional, sin fines de lucro | Indonesia |
| Michalski (2024) | Cualitativo | Organización sin ánimo de lucro (Pesantren–Waqf) | Estrategia ESG, desempeño sostenible | Polonia |
| Iannone & Anceschi (2024) | Cualitativo | Vinícola familiar | Control estratégico con BSC | Italia |
| Souza Galo et al. (2024) | Cuantitativo | Cadena de suministro (educación) | BSC y mejora logística | Perú |
| De Almeida e Pais et al. (2023) | No especificidad | Gestión de activos | Evaluación de planes estratégicos | Portugal |
| Rezaei et al. (2023) | Cuantitativo | Salud (partería) | Evaluación de servicios sanitarios | Irán |

Por su parte, la Figura 2, presenta las características de los estudios incluidos.

Figura 2

Características de los estudios incluidos



La Figura 2 muestra los tipos de diseño de investigación utilizados en los estudios incluidos en la revisión sistemática realizada. Se observa una clara preponderancia de los estudios de carácter cuantitativo: se realizaron 21 investigaciones que utilizaron análisis estadístico y que midieron de una manera objetiva los resultados con la implementación

del *balanced scorecard* en las pymes. En comparación, solo siete estudios utilizaron las metodologías cualitativas enfocadas en el análisis de procesos en las percepciones y adaptaciones organizacionales. Y se identificó que solamente dos investigaciones aplicaron el método mixto, combinando enfoques cuantitativos y cualitativos. De esta manera, se identificó que solo dos investigaciones aplicaron métodos mixtos mediante la combinación de enfoques cuantitativos y cualitativos, lo que evidencia una escasa integración de ambos enfoques en la literatura reciente.

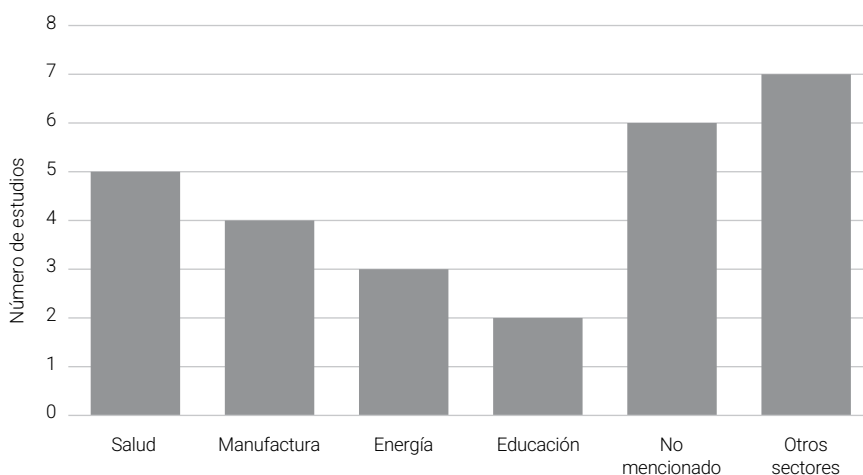
Asimismo, en cinco estudios no se especificó la metodología, ni se indicó que se trataba de un enfoque mixto, lo cual limita su uso en términos de aprendizaje y replicabilidad.

En conjunto, estos hallazgos reflejan una preferencia por métodos cuantitativos en la evaluación de la aplicación del *balanced scorecard* y, al mismo tiempo, evidencian oportunidades para fortalecer la diversidad metodológica mediante un mayor uso de enfoques cualitativos y mixtos.

Seguidamente se presenta la Figura 3, con los sectores de aplicación de los estudios.

Figura 3

Sectores de aplicación de los estudios



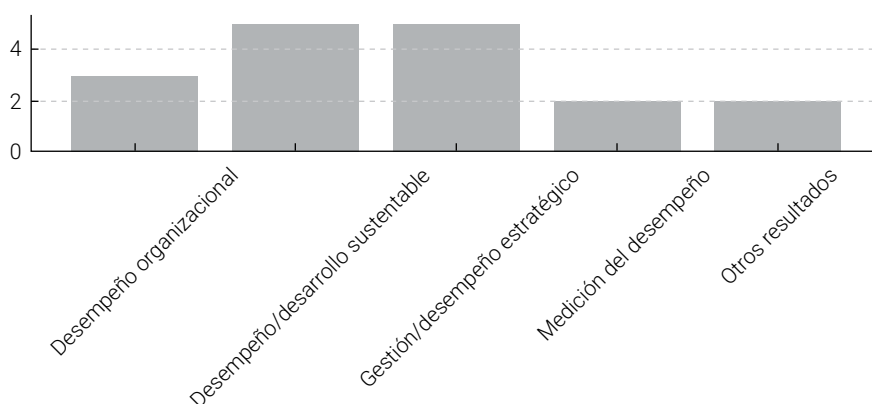
La Figura 3 presenta la distribución de los sectores industriales en los cuales se aplicaron los estudios incluidos en la revisión sistemática. Se observa que los sectores de salud (cinco estudios) y manufactura (cuatro estudios) concentran una parte importante de las investigaciones, lo que refleja un interés particular en el uso del *balanced scorecard* en entornos caracterizados por procesos estructurados y necesidades de optimización continua. El sector energético y el sector educativo cuentan con tres y dos estudios,

respectivamente, lo cual evidencia una presencia moderada del BSC en áreas en las que la gestión de la sostenibilidad, la innovación tecnológica o la eficiencia académica son factores relevantes.

Por otro lado, en seis estudios no se especificó claramente el sector industrial al que se abocaron, situación que limita la posibilidad de hacer un análisis sectorial más preciso. Asimismo, se agruparon en la categoría Otros sectores aquellos estudios pertenecientes a industrias diversas como el sector servicio, inmobiliario, exportación, entre otros, que suma un total de siete estudios. Estos resultados reflejan la diversidad de aplicaciones del *balanced scorecard* en múltiples sectores económicos, aunque también evidencian que aún persiste una concentración en industrias tradicionales como la manufactura y los servicios de salud. Finalmente, la Figura 4 identifica las categorías emergentes en la revisión de la literatura.

Figura 4

Categorías emergentes



La Figura 4 presenta los principales resultados evaluados en los estudios incluidos en la revisión sistemática. Para identificar estos estudios, se aplicó una evaluación cuantitativa basada en cinco criterios: (1) nivel de implementación del *balanced scorecard* (explícito, detallado y estructurado), (2) inclusión de resultados medidos o evidencias empíricas, (3) aplicabilidad directa al contexto de pequeñas y medianas empresas o sectores estratégicos, (4) calidad de la fuente de publicación (cuartil de indexación) y (5) relevancia práctica del estudio reportada en la discusión. Cada artículo fue evaluado y ponderado según estos criterios, lo que permitió seleccionar los diecisiete más significativos de los 35 analizados.

Como resultado, se destaca que tanto el desempeño/desarrollo sustentable como la gestión/desempeño estratégico fueron los aspectos más abordados, con cinco estudios cada uno. Esta tendencia evidencia que la literatura actual valora el *balanced scorecard* no solo como una herramienta de control financiero, sino también como un mecanismo para impulsar la sostenibilidad y el cumplimiento de objetivos estratégicos a largo plazo. Además, tres estudios se enfocaron en el desempeño organizacional, con énfasis en la eficiencia interna, el logro de metas operativas y el fortalecimiento de la competitividad empresarial.

Por otra parte, los resultados específicos —como la mejora de la cadena de suministro, la calidad del servicio y la estrategia ESG (Environmental, Social and Governance, por sus siglas en inglés; es decir, criterios ambientales, sociales y de gobernanza)— se presentaron con menor frecuencia en la literatura analizada. En particular, la medición del desempeño, asociada a estos enfoques, fue identificada únicamente en dos estudios para cada caso. Esta pequeña representación sugiere que, aunque existen aplicaciones del *balanced scorecard* en áreas más especializadas, su aceptación sigue estando más vinculada a objetivos de gestión estratégica integral y sostenibilidad. La continuidad de estos hallazgos evidencia una evolución significativa del *balanced scorecard* hacia un enfoque más holístico, en el que la dimensión sostenible y estratégica cobra un papel central en la gestión de las pequeñas y medianas empresas en todos los sectores.

Posteriormente, se analizaron los factores clave de éxito identificados en los estudios revisados, con el objetivo de comprender las condiciones y prácticas que favorecen la implementación efectiva del *balanced scorecard* en las pymes. La Tabla 2 sintetiza los principales hallazgos reportados en la literatura, destacando los factores facilitadores, las estrategias aplicadas y las limitaciones documentadas en cada investigación.

Tabla 2
Factores claves del éxito

| Autor | Principales hallazgos | Factores clave identificados | Limitaciones reportadas |
|-----------------------|---|--|--|
| Abu-Allan (2024) | El BSC media entre la incertidumbre ambiental, la estrategia empresarial y el desempeño | Alineación estratégica | No se encontró mención |
| Amer et al. (2022) | Las experiencias de los pacientes predicen actitudes hacia el BSC | Programas de educación para pacientes | Falta de preguntas específicas sobre el COVID-19 |
| Arteaga et al. (2020) | El BSC puede integrar dimensiones de sostenibilidad | Participación de expertos en el establecimiento de objetivos | Relaciones basadas en evaluaciones de expertos |

(continúa)

(continuación)

| Autor | Principales hallazgos | Factores clave identificados | Limitaciones reportadas |
|--------------------------|--|--|---|
| Benková et al. (2020) | Los recursos humanos y financieros son barreras para implementar el BSC | Estudios periódicos y colaboración con consultoras | Falta de recursos humanos y financieros |
| Carayannis et al. (2022) | El aprendizaje y el crecimiento son perspectivas fundamentales en el BSC | Formación de equipos de I+D | No se encontró mención |
| Chen et al. (2020) | El BSC es aplicable para evaluar el desempeño sostenible | Consideración del mercado, recursos, gestión y personal | Modernización de canales de comercialización y financiación |
| Dwikat et al. (2022) | La planificación estratégica sistemática mejora el rendimiento | Desarrollo de una cultura innovadora | Limitado a pymes manufactureras palestinas |
| Ashfahany et al. (2024) | La perspectiva del cliente es prioritaria en organizaciones sin fines de lucro | Participación activa en la gestión | Medición de aspectos no financieros |
| Fabac (2022) | Un BSC personalizado puede mejorar la transformación digital | Enfoque en los desafíos y oportunidades de la transformación | No se encontró mención |
| Fatmasari (2020) | Integración del BSC y Six Sigma para medir el desempeño | Foco en mejorar los servicios | Servicios que no cumplen con las expectativas |

Efectos del BSC en la competitividad de las pymes

La relación de los resultados de la revisión con respecto a los efectos de la competitividad se registró desde tres subdimensiones: impactos en el desempeño financiero observados en la Tabla 3, mejoras en la eficiencia operativa identificados en la Tabla 4 y mejoras en la posición del mercado que se presentan en la Tabla 5.

Tabla 3

Impactos en el desempeño financiero

| Estudio | Métrica de desempeño evaluada | Dirección del efecto | Magnitud del efecto |
|-----------------------|-------------------------------|----------------------|------------------------|
| Abu-Allan (2024) | Desempeño organizacional | Positivo | No especificado |
| Arteaga et al. (2020) | Desempeño estratégico | Positivo | No cuantificado |
| Chen et al. (2020) | Desempeño financiero | Positivo | Por encima de moderado |
| Dwikat et al. (2022) | Desempeño sostenible | Positivo | Valor B: 0,4 |

(continúa)

(continuación)

| Estudio | Métrica de desempeño evaluada | Dirección del efecto | Magnitud del efecto |
|-------------------------|------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| Ashfahany et al. (2024) | Desempeño financiero | Positivo | Puntuación: 21,86 sobre 100 |
| Mamabolo & Myres (2020) | Perspectiva financiera | Positivo | Confiabilidad: 0,80 |
| Oliveira et al. (2022) | Desempeño financiero | Positivo | No cuantificado |
| Oyewo et al. (2022) | Efectividad organizacional | Positivo | Débil ($b = 0,3955$, $p < 0,01$) |
| Park & Jung (2025) | Desempeño financiero a corto plazo | Sin efecto significativo | No significativo |
| Psarras et al. (2020) | Indicadores financieros | Positivo | No cuantificado |
| Quesado et al. (2022) | Perspectiva financiera | Positivo | No cuantificado |

En relación con las métricas de rendimiento evaluadas en los estudios analizados, se encontró que once de los 35 estudios revisados hicieron mención explícita a indicadores de desempeño como parte de sus resultados. Dentro de las métricas abordadas, el desempeño financiero fue el indicador más frecuente, mencionado en siete estudios, evidenciando el énfasis tradicional del *balanced scorecard* en la dimensión económica de las organizaciones. En menor medida, se observaron referencias al desempeño organizacional (dos estudios), al desempeño estratégico (un estudio) y al desempeño sostenible (un estudio), lo que sugiere una diversificación incipiente de los intereses evaluativos hacia aspectos no financieros.

Respecto a la dirección del efecto, se constató que, en diez de los once estudios con información disponible, el implementar el *balanced scorecard* tuvo un efecto positivo sobre los parámetros que fueron evaluados. Solo un estudio reportó un resultado sin efecto significativo, lo cual refuerza la evidencia empírica encontrada sobre la contribución positiva del BSC en el fortalecimiento del desempeño de las organizaciones y las empresas.

En cuanto al efecto y la magnitud de los resultados, estos fueron variados: en cuatro estudios se presentaron resultados cuantificados mediante indicadores numéricos o estadísticos específicos. Otros cuatro estudios mencionaron efectos positivos, pero sin cuantificarlos claramente. En un caso, el efecto fue descrito como “superior a moderado”, proporcionando una valoración cualitativa del impacto. En un estudio se indicó que el impacto no fue significativo. Finalmente, en un estudio la magnitud del efecto no fue especificada.

Estos resultados reflejan una tendencia generalizada a favor de la efectividad del *balanced scorecard* para mejorar el desempeño organizacional, aunque también evidencian la necesidad de una mayor rigurosidad en la medición cuantitativa del impacto en futuros estudios.

Tabla 4
Mejoras en la eficiencia operativa

| Estudio | Métrica de desempeño evaluada | Dirección del efecto |
|-----------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| Arteaga et al. (2020) | Procesos internos | Positivo |
| Chen et al. (2020) | Procesos de negocio internos | Moderado |
| Ashfahany et al. (2024) | Procesos de negocio internos | Positivo |
| Fatmasari (2020) | Procesos de negocio internos | Positivo |
| Lin et al. (2023) | Procesos internos | Positivo |
| Mamabolo & Myres (2020) | Procesos internos | Positivo |
| Quesado et al. (2022) | Procesos internos | Positivo |
| Rafiq et al. (2020) | Perspectiva empresarial interna | Positivo |
| Rasolofo-Distler (2022) | Proceso interno | Positivo |
| Rodríguez Montequín et al. (2020) | Procesos de negocio internos | Positivo |
| Antonova et al. (2022) | Procesos internos | Positivo |
| Värzaru (2022) | Proceso interno | Positivo |
| De Almeida e Pais et al. (2023) | Procesos de negocio internos | Positivo |

Dentro de los estudios analizados, se encontró que catorce de los 35 artículos hicieron mención explícita a métricas de desempeño relacionadas principalmente con procesos internos o procesos de negocio. De manera general, los estudios abordaron tres enfoques principales: ocho investigaciones se enfocaron en procesos internos y operativos dentro de la organización, cinco estudios examinaron específicamente los procesos de negocio internos buscando optimizar la eficiencia de las operaciones, y un estudio analizó la perspectiva empresarial interna, subrayando su contribución al fortalecimiento del desempeño organizacional.

Respecto a la dirección del efecto, en trece de los catorce estudios que reportaron resultados se evidenció un efecto positivo del uso del *balanced scorecard* sobre las métricas de procesos internos y empresariales. Únicamente un estudio describió un efecto moderado, sin reportar efectos negativos ni contradictorios en relación con la implementación del BSC en estas áreas.

En relación con la magnitud del efecto, se evidenció que, en doce estudios, a pesar de reportarse impactos positivos, no se proporcionaron datos cuantificados que permitieran evaluar con precisión la intensidad del efecto. Solo un estudio presentó un valor específico,

reportando una puntuación de veinte sobre cien, lo que refleja un nivel moderado de mejora. Otros estudios describieron el impacto cualitativamente, señalándolo como el más influyente entre las dimensiones analizadas, aunque sin ofrecer una medición numérica concreta.

Estos hallazgos manifiestan una aceptación generalizada del impacto positivo del *balanced scorecard* en la mejora de procesos internos en las pequeñas y medianas empresas. No obstante, también ponen de manifiesto una importante limitación en la disponibilidad de datos cuantitativos sólidos, lo que abre un espacio para futuras investigaciones que busquen fortalecer la evidencia empírica mediante metodologías que integren mediciones objetivas y comparables.

Tabla 5
Mejoras en la posición del mercado

| Estudio | Métrica de desempeño evaluada | Dirección del efecto | Magnitud del efecto |
|-----------------------------------|-------------------------------|----------------------|--------------------------|
| Arteaga et al. (2020) | Perspectiva del cliente | Positivo | No cuantificado |
| Benková et al. (2020) | No aplicable | No aplicable | No aplicable |
| Chen et al. (2020) | Desempeño de mercado | Positivo | Por encima de moderado |
| Ashfahany et al. (2024) | Perspectiva del cliente | Positivo | Puntuación: 43 sobre 100 |
| Fatmasari (2020) | Satisfacción del cliente | Positivo | 90,20 % |
| Huang et al. (2023) | Reputación | Positivo | No cuantificado |
| Lin et al. (2023) | Dimensión del cliente | Positivo | El más importante |
| Mamabolo & Myres (2020) | Perspectiva del cliente | Positivo | No cuantificado |
| Oliveira et al. (2022) | Perspectiva del cliente | Positivo | Segundo más importante |
| Quesado et al. (2022) | Perspectiva del cliente | Positivo | No cuantificado |
| Rafiq et al. (2020) | Perspectiva del cliente | Positivo | No cuantificado |
| Rasolofo-Distler (2022) | Perspectiva del cliente | Positivo | No cuantificado |
| Rodríguez Montequín et al. (2020) | Perspectiva del cliente | Positivo | Priorizado |
| Antonova et al. (2022) | Perspectiva del cliente | Positivo | No cuantificado |
| De Almeida e Pais et al. (2023) | Perspectiva del cliente | Positivo | No cuantificado |

De los estudios incluidos en la revisión (35), se encontraron memorias explícitas de métricas de desempeño relacionadas con el cliente y el mercado en catorce. Se encontró también que en doce estudios hubo un enfoque específicamente relacionado con métricas vinculadas a la perspectiva del cliente, evaluando aspectos como la satisfacción, la

lealtad, la percepción del cliente en cuanto al servicio y el valor ofrecido al cliente. Un estudio adicional midió el desempeño de mercado, considerando indicadores como la participación y el posicionamiento en el sector, mientras que otro estudio analizó la reputación organizacional como indicador de percepción externa.

La dirección y el efecto reportado en los catorce estudios de los cuales se extrajo información, coincidieron en señalar un efecto positivo procedente de la implementación del *balanced scorecard*. Este descubrimiento sugiere una fuerte estabilidad en la literatura respecto al impacto favorable que el *balanced scorecard* tiene sobre los clientes en cuanto a las mejoras y la posición competitiva de las pymes.

Con respecto a la magnitud del impacto, se observó una notable variabilidad entre los estudios. Algunos trabajos evaluaron los efectos del *balanced scorecard* mediante indicadores cuantitativos muy específicos; por ejemplo, se obtuvo un incremento del 90 % en satisfacción del cliente en un estudio y una mejora del 20 % en otro, mientras que en ciertas investigaciones la percepción del cliente se midió mediante puntajes estandarizados, como un valor de 43 sobre 100. Otros estudios refirieron el efecto de manera específica, mostrando de manera clara la perspectiva del cliente como la dimensión más importante (o la segunda más relevante) dentro del modelo aplicado, aunque sin proveer datos numéricos exactos. De esta manera, varios estudios reportaron efectos positivos, pero sin un parámetro preciso, limitando así la posibilidad de comparar magnitudes de impacto entre diferentes investigaciones.

Incorporando estos resultados, se refuerza la importancia y el valor de la perspectiva del cliente dentro del enfoque del *balanced scorecard* en las pequeñas y medianas empresas. Sin embargo, se evidencia también la necesidad de futuras investigaciones que proporcionen cálculos más sistemáticos y comparables sobre el grado de impacto logrado.

DISCUSIÓN

Los resultados de esta revisión sistemática permiten identificar patrones comunes y desacuerdos significativos en el uso del *balanced scorecard* (BSC) para mejorar la competitividad de las pequeñas y medianas empresas. Se observa un consenso generalizado en cuanto al impacto positivo del BSC sobre variables clave como el desempeño financiero. Luego, todos los procesos internos que se realizan tienen la perspectiva del cliente y, en menor medida, el posicionamiento del mercado. No obstante, la magnitud de los efectos reportados varió entre estudios que proporcionaron mediciones ponderadas y aquellos que describieron los resultados de manera cualitativa o sin detalle numérico. Esta falta de uniformidad dificulta que se realicen las comparaciones directas y limita la posibilidad de establecer conclusiones más sólidas sobre la intensidad del impacto en cuanto al mercado y los clientes.

Al realizar una comparación de estos hallazgos con investigaciones previas, se corrobora la tendencia observada en estudios como los de Kaplan y Norton (1992) y otros más recientes, como el de Gazi et al. (2022). Ellos resaltan que el *balanced scorecard* favorece de una manera positiva la gestión integral del desempeño organizacional. Aun así, dependiendo del contexto, en las grandes corporaciones su implementación suele centrarse en equilibrar perspectivas financieras y no financieras de manera estructurada, mientras que en el caso de las pequeñas y medianas empresas la adaptación ha mostrado ser más flexible, prevaleciendo de manera particular los espacios relacionados con procesos internos y el cliente, dado que estas áreas requieren atención prioritaria para garantizar su supervivencia en entornos altamente competitivos.

La investigación también resalta la importancia de adaptar el *balanced scorecard* al contexto específico de las pequeñas y medianas empresas. Estas organizaciones enfrentan limitaciones de recursos financieros, tecnológicos y humanos, que dificultan la implementación de modelos estándar (Benková et al., 2020; Ferber Pineyrua et al., 2021; Mamabolo & Myres, 2020; Arteaga et al., 2020). Por consiguiente, los estudios que han sido analizados evidencian ciertas adaptaciones, como la simplificación del número de indicadores, la priorización de perspectivas estratégicamente críticas y la incorporación de dimensiones innovadoras como la sostenibilidad o la transformación digital. La elasticidad que muestra el BSC parece ser un factor clave que facilita su adopción exitosa en pequeñas y medianas empresas de distintos sectores del mercado.

La revisión realizada presenta algunas limitaciones que deben ser reconocidas. En varios de los artículos seleccionados, por ejemplo, se evidenció una falta de detalles metodológicos importantes, como el tiempo de la implementación del BSC y la forma de medición de los resultados o la descripción de las adaptaciones realizadas, lo que limita la profundidad del análisis comparativo. De esta manera, no todos los estudios ponderaron los efectos observados, lo cual reduce la posibilidad de realizar un metaanálisis estadístico más robusto.

A pesar del creciente cuerpo de literatura sobre la implementación del *balanced scorecard* (BSC) en pequeñas y medianas empresas, se identifican vacíos relevantes que limitan la consolidación de evidencia robusta. De los estudios incluidos en esta revisión sistemática, pocos adoptan un enfoque longitudinal que permita evaluar el impacto sostenido del BSC en el mediano y largo plazo. Por ejemplo, trabajos como los de Mamabolo & Myres (2020) o Lueg & Carvalho e Silva (2021) se enfocan en las etapas iniciales del diseño o conceptualización del BSC, sin reportar seguimiento posterior a su implementación. De igual forma, investigaciones como las de Michalski (2024) y Ferber Pineyrua et al. (2021) abordan el uso del BSC desde perspectivas parciales (por ejemplo, sostenibilidad o gestión del conocimiento), sin una visión integral que abarque la evolución de todos los indicadores estratégicos. Esta tendencia evidencia la necesidad de estudios

que analicen la dinámica del modelo a través del tiempo, considerando los distintos ciclos de vida organizacional y su capacidad adaptativa frente a entornos cambiantes.

A pesar de estas limitaciones, esta revisión contribuye a sistematizar el conocimiento actual sobre el efecto del *balanced scorecard* en la competitividad de las pequeñas y medianas empresas, identificando tanto sus potenciales beneficios como los desafíos que enfrentan las pequeñas organizaciones al adoptar este modelo de gestión estratégica.

CONCLUSIONES

La revisión de la literatura que aquí se presenta permitió corroborar la existencia de un impacto positivo en la competitividad de las pequeñas y medianas empresas a partir de la implementación del *balanced scorecard* (BSC). La información obtenida permitió la toma de conciencia de que esta herramienta contribuye a la mejora del desempeño financiero, al fortalecimiento de los procesos internos, a consolidar la perspectiva del cliente y, en algunos casos, incluso a incrementar el posicionamiento de mercado de las pymes. Pero dicho impacto positivo no se logra a través de una aplicación rigurosa e inflexible del modelo original, sino mediante adaptaciones contextuales que consideran las restricciones organizativas propias de este tipo de organizaciones. La simplificación del número de indicadores, la priorización de perspectivas estratégicamente relevantes y la integración de dimensiones como la sostenibilidad son algunas de las estrategias que han demostrado ser exitosas en esta adaptación.

En síntesis, los vacíos identificados en la literatura, particularmente la ausencia de estudios longitudinales y el abordaje parcial del modelo BSC, evidencian la necesidad de investigaciones futuras que analicen su aplicación de forma más integral y sostenida en el tiempo, especialmente en las pymes. Esto permitiría comprender mejor su impacto estratégico en contextos dinámicos y en distintas etapas del ciclo organizacional.

También es recomendable ampliar la investigación a otros sectores económicos menos estudiados o a pymes de diferentes lugares geográficos y en contextos emergentes o rurales, donde las dinámicas de competitividad y sostenibilidad poseen características particulares. Fortalecer diseños metodológicos más rigurosos, así como las mediciones cuantitativas claras del efecto de BSC en pequeñas y medianas empresas es necesidad prioritaria, a fin de avanzar en la consolidación de la evidencia empírica en este ámbito. El *balanced scorecard* continúa demostrando su excelencia como una herramienta estratégica para potenciar la competitividad de las pymes, siempre que se adapte con inteligencia a la flexibilidad a las realidades específicas de cada organización.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

David Uribe Suarez: conceptualización, revisión sistemática, metodología, curación de datos, escritura: borrador original, redacción: revisión y edición, visualización de resultados, análisis e interpretación, validación. **Amanda Gómez Herrera:** supervisión, redacción: revisión y edición, visualización, apoyo metodológico, verificación de fuentes, validación, gestión del proyecto, aprobación final del manuscrito.

REFERENCIAS

- Abu-Allan, A. (2024). The impact of balanced scorecard mediation in the relationship of perceived environmental uncertainty, business strategy, and organizational performance. *Uncertain Supply Chain Management*, 12(2), 737-750. <https://doi.org/10.5267/j.uscm.2024.1.021>
- Amer, F., Neiroukh, H., Abuzahra, S., AlHabil, Y., Afifi, M., Shellah, D., Boncz, I., & Endrei, D. (2022). Engaging patients in balanced scorecard evaluation – an implication at Palestinian hospitals and recommendations for policy makers. *Frontiers in Public Health*, 10, 1045512. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.1045512>
- Andrade Arteaga, C., Rodríguez-Rodríguez, R., Alfaro-Saiz, J. J., & Verdecho, M. J. (2020). An ANP-Balanced Scorecard methodology to quantify the impact of TQM elements on organisational strategic sustainable development: Application to an oil firm. *Sustainability*, 12(15), 6207. <https://doi.org/10.3390/su12156207>
- Antonova, N., Ruiz-Rosa, I., & Mendoza-Jimenez, J. (2022). Water resource management in hotels using a sustainable balanced scorecard. *Sustainability*, 14(13), 8171. <https://doi.org/10.3390/su14138171>
- Ashfahany, A. E., Jihad, M. R., Kurniawati, N. N., Hidayat, S., & Triono, A. M. (2024). Balanced scorecard approach to measuring the performance of a non-profit organization: case study on a waqf-based pesantren in Indonesia. *Problems and Perspectives in Management*, 22(2), 600-614. [https://doi.org/10.21511/ppm.22\(2\).2024.47](https://doi.org/10.21511/ppm.22(2).2024.47)
- Benková, E., Gallo, P., Balogová, B., & Nemec, J. (2020). Factors affecting the use of balanced scorecard in measuring company performance. *Sustainability*, 12(3), 1178. <https://doi.org/10.3390/su12031178>
- Carayannis, E., Kostis, P., Dinçer, H., & Yüksel, S. (2022). Balanced-scorecard-based evaluation of knowledge-oriented competencies of distributed energy investments. *Energies*, 15(21), 8245. <https://doi.org/10.3390/en15218245>
- Chen, N., Yang, X., & Shadbolt, N. (2020). The Balanced Scorecard as a tool evaluating the sustainable performance of chinese emerging family farms—evidence from Jilin province in China. *Sustainability*, 12(17), 6793. <https://doi.org/10.3390/su12176793>

- De Almeida e Pais, J. E., Raposo, H. D. N., Farinha, J. T., Cardoso, A. J. M., Lyubchyk, S., & Lyubchyk, S. (2023). Measuring the performance of a strategic asset management plan through a balanced scorecard. *Sustainability*, 15(22), 15697. <https://doi.org/10.3390/su152215697>
- De Souza Machado, A. C. C., Filho, G. L. T., de Abreu, T. M., Facchini, F., da Silva, R. F., & Rodrigues Pinto, L. F. (2023). Use of balanced scorecard (BSC) performance indicators for small-scale hydropower project attractiveness analysis. *Energies*, 16(18), 6615. <https://doi.org/10.3390/en16186615>
- Dwikat, S. Y., Arshad, D., & Mohd Shariff, M. N. (2022). The influence of systematic strategic planning and strategic business innovation on the sustainable performance of manufacturing SMEs: the case of Palestine. *Sustainability*, 14(20), 13388. <https://doi.org/10.3390/su142013388>
- Fabac, R. (2022). Digital balanced scorecard system as a supporting strategy for digital transformation. *Sustainability*, 14(15), 9690. <https://doi.org/10.3390/su14159690>
- Fatmasari, R. (2021). Integration of balanced scorecard and Six Sigma in measuring open university academic services performance. *Turkish Online Journal of Distance Education*, 21(Special Issue-IODL), 111-120. <https://doi.org/10.17718/tojde.770940>
- Ferber Pineyrua, D. G., Redondo, A., Pascual, J. A., & Gento, Á. M. (2021). Knowledge management and sustainable balanced scorecard: practical application to a service SME. *Sustainability*, 13(13), 7118. <https://doi.org/10.3390/su13137118>
- Gazi, F., Atan, T., & Kılıç, M. (2022). The Assessment of internal indicators on the balanced scorecard measures of sustainability. *Sustainability*, 14(14), 8595. <https://doi.org/10.3390/su14148595>
- Huang, Y. S., Ito, K., & Nemoto, M. (2023). Sustainable communication management using the balanced scorecard: evidence from a Japanese hospital based on corporate communication theory. *Sustainability*, 15(13), 10111. <https://doi.org/10.3390/su151310111>
- Iannone, B., & Anceschi, A. (2025). Which Strategic Control Suits Wine Family Companies to Improve Control? A Proposal Through the Balanced Scorecard in a Tuscany Wine Company of Michele Satta. *Thunderbird International Business Review*, 67(2), 201-224. <https://doi.org/10.1002/tie.22420>
- Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1992). The balanced scorecard-measures that drive performance. *Harvard Business Review*, 70(1), 71-79. https://steinbeis-bi.de/images/artikel/hbr_1992.pdf
- Lin, C.-Y., Shih, F.-C., & Ho, Y.-H. (2023). Applying the balanced scorecard to build service performance measurements of medical institutions: an AHP-DEMATEL approach.

- International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(2), 1022. <https://doi.org/10.3390/ijerph20021022>
- Lueg, R., & Carvalho e Silva, A. L. (2021). Diffusion of the balanced scorecard: motives for adoption, design choices, organisational fit, and consequences. *Accounting Forum*, 46(3), 287-313. <https://doi.org/10.1080/01559982.2021.1930341>
- Mamabolo, A., & Myres, K. (2020). Performance measurement in emerging market social enterprises using a balanced scorecard. *Journal of Social Entrepreneurship*, 11(1), 65-87. <https://doi.org/10.1080/19420676.2018.1561499>
- Martín-Gómez, A. M., Pineda-Ganforina, M., Ávila-Gutiérrez, M. J., Agote-Garrido, A., & Lama-Ruiz, J. R. (2024). Balanced scorecard for circular economy: a methodology for sustainable organizational transformation. *Sustainability*, 16(4), 1464. <https://doi.org/10.3390/su16041464>
- Michalski, D. (2024). Operationalization of ESG-integrated strategy through the balanced scorecard in FMCG companies. *Sustainability*, 16(21), 9174. <https://doi.org/10.3390/su16219174>
- Oliveira, C., Rodrigues, M., Silva, R., Meirinhos, G., & Franco, M. (2022). BSC's perspectives ranking towards organizational performance: an empirical study performed with Portuguese exporters. *Sustainability*, 14(23), 15979. <https://doi.org/10.3390/su142315979>
- Oyewo, B., Moses, O., & Erin, O. (2022). Balanced scorecard usage and organizational effectiveness: Evidence from manufacturing sector. *Measuring Business Excellence*, 26(4), 558-582. <https://doi.org/10.1108/MBE-01-2021-0005>
- Park, S.-H., & Jung, C. (2025). The impact of informatization leadership of CEOs and executives in SMEs on business performance: a balanced scorecard perspective for sustainable management. *Sustainability*, 17(1), 32. <https://doi.org/10.3390/su17010032>
- Pierce, E. (2022). A balanced scorecard for maximizing data performance. *Frontiers in big Data*, 5, 821103. <https://doi.org/10.3389/fdata.2022.821103>
- Psarras, A., Anagnostopoulos, T., Tsotsolas, N., Salmon, I., & Vryzidis, L. (2020). Applying the balanced scorecard and predictive analytics in the administration of a European funding program. *Administrative Sciences*, 10(4), 102. <https://doi.org/10.3390/admsci10040102>
- Quesado, P., Marques, S., Silva, R., & Ribeiro, A. (2022). The balanced scorecard as a strategic management tool in the textile sector. *Administrative Sciences*, 12(1), 38. <https://doi.org/10.3390/admsci12010038>

- Rafiq, M., Zhang, X., Yuan, J., Naz, S., & Maqbool, S. (2020). Impact of a balanced scorecard as a strategic management system tool to improve sustainable development: measuring the mediation of organizational performance through PLS-Smart. *Sustainability*, 12(4), 1365. <https://doi.org/10.3390/su12041365>
- Rasolofo-Distler, F. (2022). Institutional pressure and real estate balanced scorecard indicators. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, 13(4), 826-857. <https://doi.org/10.1108/SAMPJ-04-2021-0125>
- Rezaei, G., SadeghzadehMaharluie, M., Ebrahimi, M., & Ebrahimi, M. (2023). Assessing midwifery services in Iran via the balanced scorecard framework. *Health Policy and Planning*, 39(1), 32-43. <https://doi.org/10.1093/heapol/czad110>
- Rodríguez Montequín, V., Villanueva Balsera, J. M., Díaz Piloñeta, M., & Álvarez Pérez, C. (2020). A Bradley-Terry model-based approach to prioritize the balance scorecard driving factors: The case study of a financial software factory. *Mathematics*, 8(2), 276. <https://doi.org/10.3390/math8020276>
- Sorooshian, S., Aziz, N. F., & Azizan, N. A. (2020). Ranking of performance measurement systems for smaller businesses. *International Journal of Intelligent Engineering & Systems*, 13(2), 108-116. <https://doi.org/10.22266/ijies2020.0430.11>
- Souza Galo, R. D., Bejarano Auqui, J. F., & Ramírez Pezo, Y. E. (2024). El Balanced Score Card como predictor de mejora de la cadena de suministro de la empresa ACES Perú, 2022. *Academic Journal of Interdisciplinary Studies*, 13(3), 348. <https://doi.org/10.36941/ajis-2024-0086>
- Vărzaru, A. A. (2022). An empirical framework for assessing the balanced scorecard impact on sustainable development in healthcare performance measurement. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(22), 15155. <https://doi.org/10.3390/ijerph192215155>

PREDICTING EMPLOYEE TURNOVER USING APPLIED MACHINE LEARNING

MARCOS ANTONIO ALBARRACIN MANRIQUE*

<https://orcid.org/0000-0002-3429-0267>

Instituto de Física, Universidad de Sao Paulo, Brasil

Received: May 19, 2025 / Accepted: July 10, 2025

Published: December 19, 2025

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2025.n049.7934>

ABSTRACT. Employee turnover is a fundamental process within organizations, reflecting the number of employees who leave a company within a specified timeframe. High turnover incurs substantial costs, so comprehending its causes and implementing corrective actions is crucial for maintaining acceptable levels of employee retention. This article uses predictive models to analyze employee turnover. The researcher developed and compared two machine learning algorithms (Binary Logistic Regression and Random Forest) and one deep learning algorithm (Artificial Neural Networks), utilizing the IBM dataset available on Kaggle. The article is structured in five parts: an introduction to the problem, methodological development, analysis of results, discussion, and conclusion. The findings indicate that neural networks are more efficient at prediction. Ultimately, the use of predictive models can help companies anticipate turnover, optimize selection processes, and promote more ethical and proactive human resource management.

KEYWORDS: machine learning / neural networks / labor turnover / forecasting / ensemble learning / logistic regression analysis

Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

* Corresponding author.

E-mail address: sagret10@usp.br, sagret10@gmail.com

Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

APRENDIZAJE AUTOMÁTICO APLICADO PARA PREDECIR LA ROTACIÓN DE EMPLEADOS EN UNA EMPRESA

RESUMEN. La rotación de personal es un proceso natural en las organizaciones que refleja la cantidad de empleados que dejan la empresa en un periodo determinado. Una alta rotación genera costos significativos, por lo que comprender sus causas y planificar acciones correctivas es esencial para mantener la rotación de personal en niveles aceptables. Este artículo analiza la rotación en organizaciones mediante modelos predictivos. Se desarrollaron y compararon dos algoritmos de aprendizaje automático (regresión logística binaria y bosque aleatorio) y uno de aprendizaje profundo (redes neuronales artificiales), utilizando el conjunto de datos de IBM disponible en Kaggle. El artículo se estructura en cinco partes: introducción al problema, desarrollo metodológico, análisis de resultados, discusión y conclusión. Las redes neuronales demostraron mayor eficiencia en la predicción. Se concluye que el uso de modelos predictivos puede ayudar a las empresas a anticipar la rotación, optimizar procesos de selección y fomentar una gestión de recursos humanos más ética y proactiva.

PALABRAS CLAVE: aprendizaje automático / redes neuronales / rotación de personal / pronósticos / aprendizaje conjunto / análisis de regresión logística

INTRODUCTION

In recent years, researchers have applied Machine Learning (ML) across various fields, including the assessment of real estate prices (Albarracin & Souza, 2021), enhancement of security and privacy protocols (Wassan et al., 2022), detection of phishing websites (Almomani et al., 2022), identification of malware detection in IoT devices (Gaurav et al., 2023), forecasting sales for companies (Soltaninejad et al., 2024), and evaluation of credit scoring (El Maanaoui et al., 2024), among many others areas within the applied sciences.

Employee turnover poses a significant challenge for the Human Resources (HR) and personnel departments. Organizations actively monitor turnover rates to gain insights into the dynamics surrounding employee entry and exit. Each instance that a company replaces an employee incurs both direct and indirect costs, highlighting that employees are essential contributors to all aspects of a company. These costs include human resource expenses, advertising expenditures, lost productivity, customer retention efforts, and the training of new hires, among others. Consequently, the ongoing loss of talent adversely affects a company's success (Duda & Žůrková, 2013; Cloutier et al., 2015; Al-Suraihi et al., 2021; Vasantham & Aithal, 2022).

A high turnover rate raises significant concerns because it directly impacts productivity and business outcomes. Researchers identify four types of employee turnover: voluntary, involuntary, functional, and dysfunctional. Each type arises from various factors, such as improved working conditions, competitive job offers, retirement, underperformance, challenges in adapting to the organizational culture, misconduct, or cost-cutting measures. Each category of turnover exerts different levels of impact, resulting in detrimental effects on the organization. Despite these varying impacts, all types of turnover pose considerable challenges and create ongoing issues for companies, ultimately undermining their competitiveness (Gundlach, 2025; Hur & Abner, 2023; Pelly, 2023; Wang & Sun, 2020; An, 2019).

Employee turnover has significant repercussions for organizations, including the loss of institutional knowledge, increased workloads for remaining staff, and decreased morale. More importantly, turnover signals potential issues that affect employee satisfaction and engagement. A notable number of departures raises concerns about the organization's ability to attract prospective candidates, maintain productivity, ensure profitability, and negotiate effectively with customers and stakeholders. Therefore, understanding the reasons behind employee turnover is essential for organizations. While individuals frequently attribute employee turnover to personal decisions, organizations play a crucial role in this phenomenon. Organizations significantly shape the work environment and actively influence employee choices through their actions and policies (Tuzun & Kalemci, 2012; Ribes et al., 2017; Dalton & Mesch, 1990).

Replacing an employee imposes significant costs for a company, including human resources, advertising, lost productivity, customer retention, and training for new hires (Adeyefa et al., 2023). Hiring and retaining employees present complex challenges that demand substantial capital, time, and expertise. According to Hiring People, a leading online fixed-fee recruitment company in the UK and a pioneer in this field, small business owners dedicate approximately 40 % of their working hours to non-revenue-generating tasks, such as recruiting. Companies generally allocate 15 % to 20 % of an employee's salary for recruiting new candidates. On average, companies experience a loss of 1 % to 2,5 % of their total revenue during the training period for a new employee. According to The Society for Human Resource Management (SHRM), hiring a new employee costs an average of \$4700 for a company with around 500 employees, a figure that has increased by 14 % over the past five years. Additionally, it takes approximately 52 days to fill a new position (Prokopets, 2024).

Machine Learning (ML) algorithms are transforming industries worldwide (Fernandes & Sharma, 2022). By leveraging historical data and utilizing sophisticated algorithms, these systems emulate human learning, continuously enhancing their accuracy and capabilities (Russell & Norvig, 2021; Kelleher et al., 2015; Kelleher, 2019; Kelleher & Tierney, 2018). The influence of ML is evident in everyday applications, ranging from mobile banking to personalized recommendations on social media (Sadiku et al., 2021). ML automates intricate processes, thereby improving decision-making, identifying market gaps, and fostering innovation. The primary advantages of ML include increased efficiency, time savings, enhanced customer responsiveness, and superior decision-making. The relevance of Artificial Intelligence (AI), particularly its ML subset, aligns closely with the issue of employee turnover, presenting a viable solution for predicting turnover rates. Nonetheless, organizations can only reap the benefits of accurate turnover predictions—by identifying root causes, enhancing employee engagement, and boosting performance—if they obtain reliable results from algorithms that effectively inform decision-making processes.

Machine learning algorithms significantly influence predictions of employee turnover within companies (Fallucchi et al., 2020; Sharma & Sharma, 2023; Park et al., 2024; Nagpal et al., 2024; Solomon et al., 2024). Over the past two decades, researchers have increasingly focused on turnover from various perspectives, including job-specific factors, emotional assessments, resource constraints, demographic attributes, and absenteeism. Furthermore, they have dedicated efforts to improve the accuracy of the employed ML models (Rombaut & Guerry, 2018; Saradhi & Palshikar, 2011; Juvitayapun, 2021; Alsubaie & Aldoukhi, 2024; Veglio et al., 2024).

Utilizing multiple algorithms is always preferable, as analyzing a variety of algorithms in data science is crucial for identifying the one that yields the best performance. This study examines the factors influencing employee turnover to help companies make data-driven

decisions. To achieve this aim, we employ three ML algorithms: Binary Logistic Regression, Random Forest, and Artificial Neural Networks (ANN), with the latter associated with Deep Learning (DL) algorithms. The objective is to enhance the accuracy of predicting employee turnover by applying these models. This paper is structured as follows: Section 2 details the methodology, including an Exploratory Data Analysis (EDA) of the features—an important step in the AI algorithm pipeline. Section 3 presents the results, Section 4 discusses each model in depth, and Section 5 concludes the study.

METHODOLOGY

This section presents the methodology used to analyze employee turnover prediction. The approach consists of several interconnected stages, starting with data collection, then moving to data cleaning, data exploration, and statistical analysis. We detail the ML algorithms used to identify complex patterns in the data and discuss the initial results from their performance evaluations. The entire process was implemented using Python software.

This study adopts a descriptive analytical approach to investigate the phenomenon of employee turnover within a company. To achieve this objective, we utilize a fictitious dataset developed by IBM data scientists (Subhash, 2017). This dataset contains information on 1 470 employees and includes 35 variables, each presented with its respective levels in Tables 1 and 2. The tables record relevant data on the factors influencing turnover. This fictitious database effectively simulates a historical dataset typically collected by the human resources department of a large organization.

This fictitious dataset presents significant limitations compared to real datasets. A primary limitation is the absence of null or incompletely filled data, which is a common occurrence in real datasets. Real datasets often include null or inadequately filled values due to several factors. For instance, employees may refuse to provide information when completing questionnaires, submit responses after the deadline, or offer answers that lack depth, truthfulness, or a clear understanding of the requested information, among other issues.

Table 1
Variables and corresponding levels

| Variable | Type | Levels |
|-----------------|------------|--|
| Age | Continuous | 18 – 60 |
| Attrition | Nominal | No = 0, Yes = 1 |
| Business Travel | Ordinal | 1 = Non_Travel, 2 = Travel_Rarely, 3 = Travel_Frequently |
| Daily Rate | Continuous | 102 - 1 499 |

(continúa)

(continuación)

| Variable | Type | Levels |
|--------------------------|------------|--|
| Department | Nominal | 1 = Human Resource, 2 = Research & Development, 3 = Sales |
| Distance from Home | Continuous | 1 – 29 |
| Education | Ordinal | 1 = Below College, 2 = College, 3 = Bachelor, 4 = Master, 5 = Doctor |
| Education Field | Nominal | 1 = Human Resource, 2 = Life Sciences, 3 = Marketing, 4 = Medical, 5 = other, 6 = Technical Degree |
| Employee Count | Discrete | 1 |
| Employee Number | Discrete | 1 - 2 068 |
| Environment Satisfaction | Ordinal | 1 = Low, 2 = Medium, 3 = High, 4 = Very High |
| Gender | Nominal | 0 = Female, 1 = Male |
| Hourly Rate | Continuous | 30 – 100 |
| Job Involvement | Ordinal | 1 = Low, 2 = Medium, 3 = High, 4 = Very High |
| Job Level | Ordinal | 1, 2, 3, 4, 5 |
| Job Role | Ordinal | 1 = Sales Executive, 2 = Research Scientist, 3 = Laboratory Technician, 4 = Manufacturing |
| Job Satisfaction | Ordinal | 1 = Low, 2 = Medium, 3 = High, 4 = Very High |
| Marital Status | Nominal | 1 = Divorced, 2 = Married 3 = Single |
| Monthly Income | Continuous | 1 009 – 19 999 |
| Monthly Rate | Continuous | 2 094 - 26 999 |

Table 2*Variables and corresponding levels*

| Variable | Type | Levels |
|---------------------------|------------|---|
| Num Companies Worked | Continuous | 0 – 9 |
| Over18 | Nominal | 0 = No, 1 = Yes |
| Overtime | Nominal | 0 = No, 1 = Yes |
| Percent Salary Hike | Continuous | 11 – 25 |
| Performance Rating | Ordinal | 1 = Low, 2 = Good, 3 = Excellent, 4 = Outstanding |
| Relationship Satisfaction | Ordinal | 1 = Low, 2 = Medium, 3 = High, 4 = Very High |
| Standard Hours | Discrete | 80 |
| Stock Option Level | Ordinal | 0, 1, 2, 3, 4 |
| Total Working Years | Continuous | 0 – 40 |
| Training Times Last Year | Continuous | 0 – 6 |
| Work-Life Balance | Ordinal | 1 = Bad, 2 = Good, 3 = Better, 4 = Best |

(continúa)

(continuación)

| Variable | Type | Levels |
|----------------------------|------------|--------|
| Years at Company | Continuous | 0 - 40 |
| Years in Current Role | Continuous | 0 - 18 |
| Years Since Last Promotion | Continuous | 0 - 15 |
| Years with Current Manager | Continuous | 0 - 17 |

Most real-world datasets remain unstructured, necessitating cleaning and conversion into structured formats before analysis or modeling. However, this study utilizes an *ideal* dataset that allows us to omit the data-cleaning step. In the context of exploratory data analysis, we aim to uncover hidden patterns within the dataset. To achieve this, we analyze various factors influencing the target variable and evaluate the extent of their impact. This analysis involves examining the relationships among independent variables, with specific attention to multicollinearity, and identifying strategies to achieve the desired outcomes. This process provides a clear direction as the researcher initiates the modeling process. To uncover insights from the underlying characteristics of the dataset, the researcher performed an exploratory analysis. This analysis used graphical representations and descriptive statistical methods to examine the dataset, which resulted in several significant conclusions.

Table 3 illustrates that three variables (*EmployeeCount*, *Over181* and *StandardHours*) present only a single value, rendering their contributions to the analysis negligible. The table also includes a fourth variable, *EmployeeNumber*, which assigns a unique ID to each observation (employee). To enhance the robustness of our model and reduce the risk of overfitting, the researcher removed these non-informative variables from the analysis.

Conducting a basic statistical analysis enables us to gain initial insights by comparing the number of employees who left the company to those who remained. Analyzing the *Attrition* variable, which indicates an employee’s likelihood of leaving, reveals that out of the 1470 employees in the dataset, 237 employees departed. This figure represents approximately 16 %, while the remaining 1233 employees account for about 84 %.

Table 3
Statistical summary of variables not significant for the model

| | EmployeeCount | EmployeeNumber | Over18 | StandardHours |
|-------|---------------|----------------|---------|---------------|
| count | 1 470,0 | 1 470,0 | 1 470,0 | 1 470,0 |
| mean | 1,0 | 1 024,87 | 1,0 | 80,0 |
| Std | 0,0 | 602,02 | 0,0 | 0,0 |
| Min | 1,0 | 1,00 | 1,0 | 80,0 |

(continúa)

(continuación)

| | EmployeeCount | EmployeeNumber | Over18 | StandardHours |
|------|---------------|----------------|--------|---------------|
| 25 % | 1,0 | 491,25 | 1,0 | 80,0 |
| 50 % | 1,0 | 1 020,50 | 1,0 | 80,0 |
| 75 % | 1,0 | 1 555,75 | 1,0 | 80,0 |
| Max | 1,0 | 2 068,00 | 1,0 | 80,0 |

Analyzing the variables *Age*, *DailyRate*, and *DistanceFromHome* separately for employees who left the company and those who chose to stay reveals significant insights. Tables 4 and 5 show that the mean *Age* indicates younger individuals are more likely to leave the company. The *DailyRate* analysis demonstrates that employees who remain with the company tend to earn higher salaries than those who exit. This suggests that departing employees may seek better job opportunities that offer more competitive compensation.

Regarding *DistanceFromHome*, the average indicates that employees who left the company generally live farther from the company than their counterparts who stayed. In terms of *EnvironmentSatisfaction*, the data reveal that departing employees report lower satisfaction than their counterparts who stayed, suggesting that the latter group generally experiences a greater level of satisfaction with their work environment. Finally, regarding the *Education* variable, employees who left the company have a lower average educational attainment than those who remained employed.

The findings indicate that individuals with higher levels of education typically earn greater salaries, which may incentivize them to remain with the company. In contrast, employees with lower educational qualifications are more prone to leaving. Utilizing this information, the company can implement strategies such as offering discounts on tuition fees or providing assistance with postgraduate course costs, for example. As a result, employees who attain higher levels of education can expect to earn increased salaries and exhibit a higher likelihood of continued employment with the organization.

In conducting a correlation analysis using the Chi-Square test, the researcher identified a strong correlation between the variable *Attrition* and several categorical variables, including *JobLevel*, *JobRole*, *MaritalStatus*, *OverTime*, and *StockOptionLevel*. These correlations become evident through significant differences in the distributions of each variable for employees who left the company compared to those who remained. For instance, the *MaritalStatus* variable, which categorizes individuals as *Single*, *Married*, and *Divorced*, reveals significant differences between employees who left the company and those who chose to stay, as shown in Figure 1. The data indicates that married employees are more likely to remain with the company, likely due to family responsibilities that drive them to prioritize stability over risk-taking, in contrast to their single counterparts. Researchers can apply a similar analysis to other qualitative variables.

Table 4
Comparisons of the basic statistical parameters of Age, DailyRate, and DistanceFromHome among employees who chose to leave versus those who decided to remain

| | Age_left | Age_stayed | DailyRate_left | DailyRate_stayed | Distance FromHome_left | Distance FromHome_stayed |
|-------|----------|------------|----------------|------------------|------------------------|--------------------------|
| Count | 237,0 | 1233,0 | 237,0 | 1233,0 | 237,0 | 1233,0 |
| mean | 33,6 | 37,6 | 750,4 | 812,5 | 10,6 | 8,9 |
| std | 9,7 | 8,9 | 401,9 | 403,2 | 8,5 | 8,0 |
| min | 18,0 | 18,0 | 103,0 | 102,0 | 1,0 | 1,0 |
| 25 % | 28,0 | 31,0 | 408,0 | 477,0 | 3,0 | 2,0 |
| 50 % | 32,0 | 36,0 | 699,0 | 817,0 | 9,0 | 7,0 |
| 75 % | 39,0 | 43,0 | 1092,0 | 1176,0 | 17,0 | 13,0 |
| max | 58,0 | 60,0 | 1496,0 | 1499,0 | 29,0 | 29,0 |

Table 5
Comparison of basic statistical parameters between variables Education and EnvironmentSatisfaction for employees who left and decided to stay

| | Education_left | Education_stayed | Environment Satisfaction_left | EnvironmentSatisfaction_stayed |
|-------|----------------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| count | 237,0 | 1233,0 | 237,0 | 1233,0 |
| mean | 2,8 | 2,9 | 2,5 | 2,8 |
| std | 1,0 | 1,0 | 1,2 | 1,1 |
| min | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 25 % | 2,0 | 2,0 | 1,0 | 2,0 |
| 50 % | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| 75 % | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 |
| max | 5,0 | 5,0 | 4,0 | 4,0 |

Examining the Pearson correlation between numerical variables yields valuable insights. For example, since single employees tend to have higher turnover rates, we can expect that younger employees will also leave the company in greater numbers. While the correlation between the Attrition and Age variables is not particularly strong, it is negative. The distribution of this correlation is illustrated in Figure 2.

Figure 1

Distribution of the variable MaritalStatus for employees who left and decided to stay

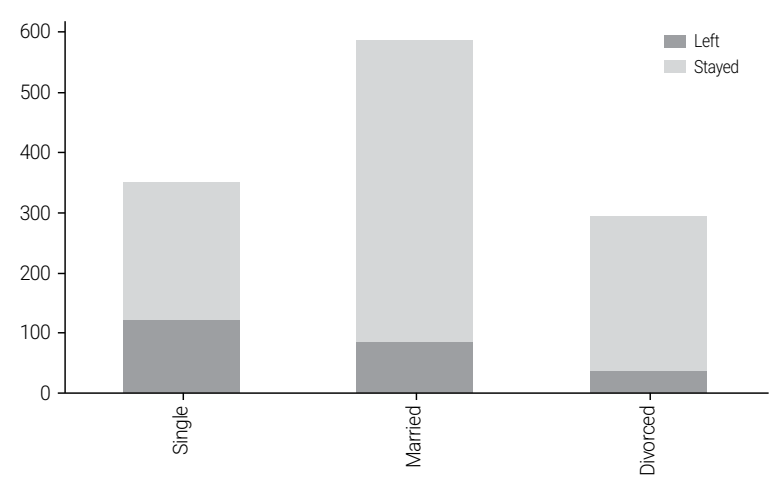
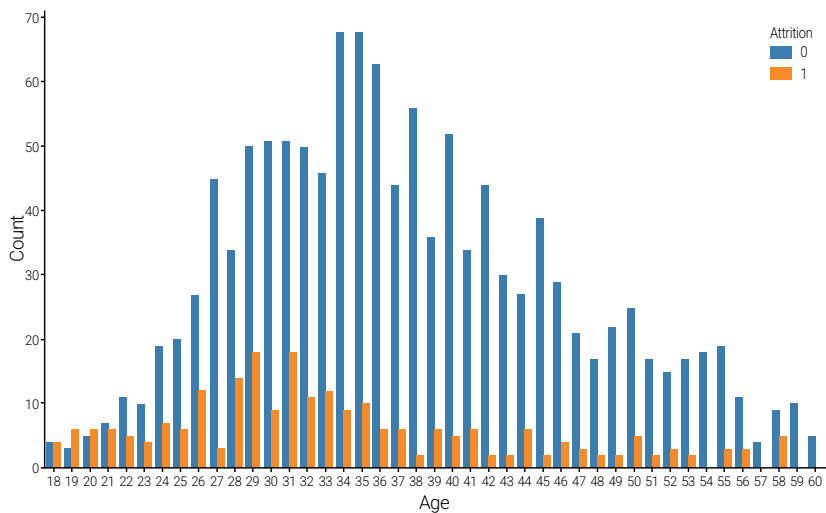


Figure 2

Distribution of the variable Age for employees who left and decided to stay



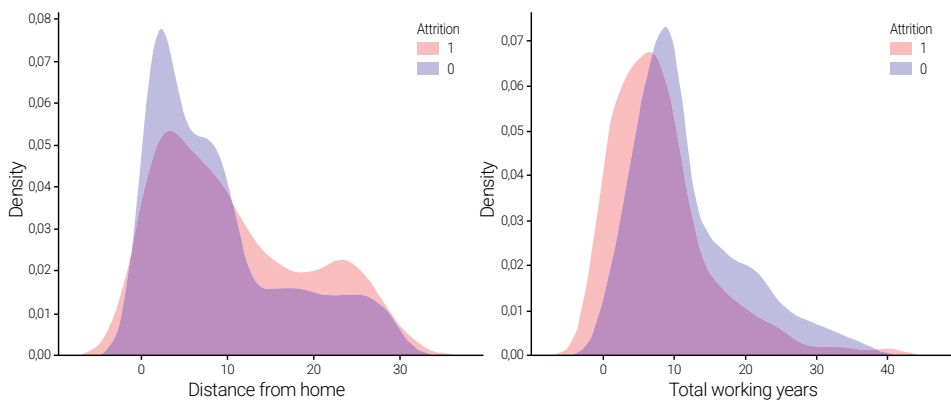
This study reveals a notable trend regarding the *DistanceFromHome* variable: employees living farther from the company are more likely to leave the organization than those who remain. We can analyze this trend by examining the probability density function through a kernel density estimate (KDE), as illustrated in Figure 3 (left). The analysis demonstrates that the majority of individuals who departed the company reside between 1 and

10 kilometers from their workplace, while additional individuals living between 20 and 30 kilometers from the workplace are also present on the right side of the distribution. In contrast, most employees who stayed with the company work between 1 and 5 kilometers from home. Notably, the proportion of those who remained and lived more than 10 kilometers away is smaller than that of individuals depicted in the red section, which represents the employees who left.

Additionally, we examine the *TotalWorkingYears* variable, as shown in Figure 3 (right). This analysis reveals that the density of individuals who continue with the company surpasses that of those who depart, indicating that employees who remain tend to have accumulated more years of experience throughout their careers than those who leave. Moreover, this characteristic correlates with age, as younger individuals generally exhibit a greater propensity to seek alternative employment opportunities.

Figure 3

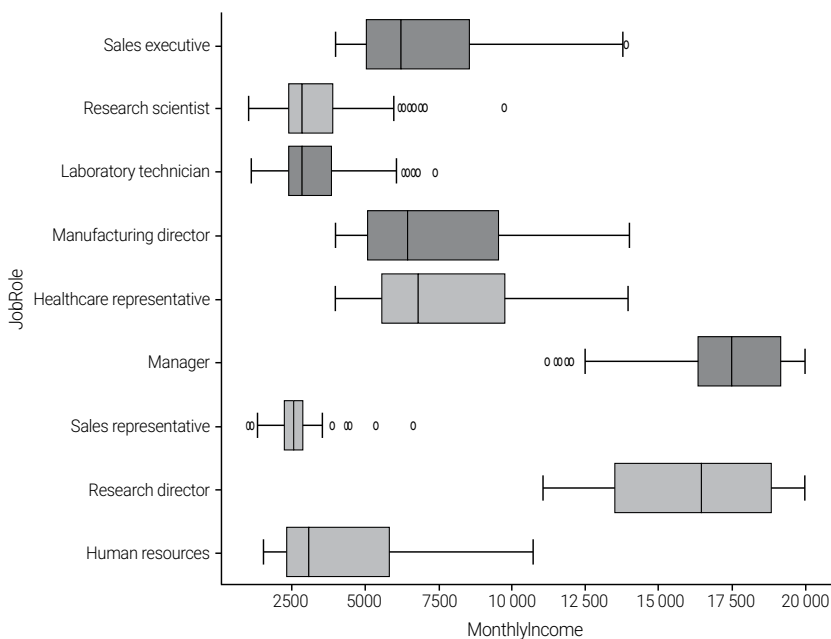
Probability density function of the variable (left) DistanceFromHome and (right) TotalWorkingYears, for employees who left and decided to stay



In this section, we will analyze the relationship between *MonthlyIncome* and *JobRole* using boxplot visualizations. The data reveals that employees occupying the roles of *Manager* and *Research Director* earn the highest salaries, as indicated by their placement further to the right on the boxplot compared to other positions. Salaries for the remaining job roles are relatively similar; however, the *Sales Representative* position has the lowest salary, as illustrated in Figure 4. Furthermore, Figure 5 shows that the Sales Representative area has the highest employee turnover in the company, likely attributable to insufficient salaries.

Figure 4

Boxplot for the variables MonthlyIncome and JobRole

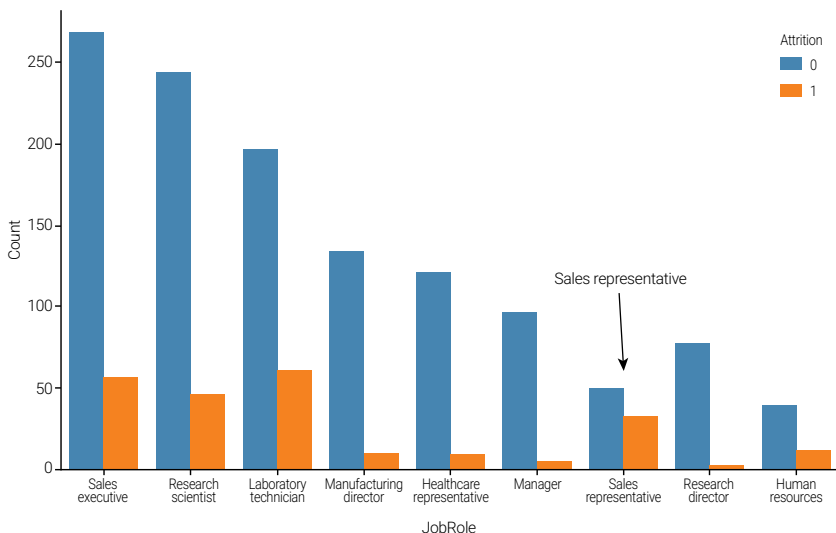


To predict which employees are most likely to leave the company using various ML algorithms, researchers must follow several essential steps. Among these, data preprocessing, also known as feature engineering, plays a crucial role. This study will examine several key parameters and procedures applied to the data prior to training, evaluating, and implementing the model. The preprocessing tasks will include addressing missing values, scaling numerical features, normalizing and standardizing data, encoding categorical variables, and dividing the dataset into training and test sets. The researcher will adopt the conventional division of 75 % for the training group and 25 % for the test group. This systematic approach will enhance the training phase and enable a thorough evaluation of the algorithm's performance on unseen data.

This study employs three ML models: Binary Logistic Regression, Random Forest, and Artificial Neural Networks (ANN). The researcher based the selection of these algorithms on their effectiveness and interpretability in solving binary response variable problems. Several excellent resources offer detailed descriptions of these algorithms. Including notable works by Murphy (2022; 2023), Marsland (2014), James et al. (2023), and Goodfellow et al. (2016).

Figure 5

Distribution of the variable JobRole for employees who left and decided to stay



In contrast to the study by Alsubaie and Aldoukhi (2024), the researcher integrated an ANN algorithm into this study. ANN represents a segment of the deep learning domain, currently recognized for housing some of the most effective algorithms across a wide array of applications. However, it is essential to acknowledge that ascribing contributions from various factors within artificial neural networks presents inherent challenges.

Unlike traditional statistical models, neural networks (NN) do not easily identify the most statistically influential input factors. This limitation stems from the complexity of NNs, which obscures the relationships between their inputs and outputs (Hastie et al., 2009). This challenge poses a significant barrier to the acceptance of NNs in contemporary decision-making systems. Therefore, while NN models can produce satisfactory results if prediction is the sole objective, models such as Binary Logistic Regression also enhance our understanding of how various factors influence classification.

Approximately 16 % of the cases in our dataset represent employees who have left the company, highlighting a significant imbalance within the dataset. In such contexts, relying exclusively on precision can be misleading. Consequently, the researcher decided to use the *F1-score* as an evaluation metric, as it provides a more robust assessment, particularly when the minority class is of special interest. By considering both precision and recall, the *F1-score* offers a fair representation of model performance, even in the presence of class imbalance. The *F1-score* ranges from 0 to 1, with the best value at 1 and the worst at 0. The researcher focused the analysis on the *F1-score* for the minority class instead of global metrics, which may obscure the model's true predictive capability.

The feasibility of implementing these models depends on the organization's HR systems and data quality. To effectively predict employee turnover, it is essential to ensure access to high-quality data, integrate with existing systems, and consider ethical and legal implications. Failing to address these factors may impede the adoption and effectiveness of the model.

RESULTS

In the field of AI, ML serves as a robust tool for transforming data into valuable insights and predictions. However, selecting the suitable algorithm for a specific problem presents significant challenges. Each algorithm has distinct strengths and weaknesses, making the optimal choice dependent on the characteristics of the data, the nature of the problem, and the available computational resources. To prevent overfitting, the researcher employed L2 regularization techniques for the Binary Logistic Regression algorithm and applied dropout for the ANN algorithm. Additionally, the study eliminated correlated or irrelevant variables during the Exploratory Data Analysis (EDA) process.

This study implements models using *Python* software, specifically leveraging the open-source ML library *Scikit-learn* (Pedregosa et al., 2011). While *scikit-learn* provides implementations of NNs, the researcher chose to utilize the open-source libraries *TensorFlow* and *Keras*. These powerful and accessible tools enable us to create and train ANNs to detect and interpret patterns and correlations in data, much like human learning and reasoning. Furthermore, they are optimized for deep learning and graphics processing units (GPU) (Géron, 2019).

BINARY LOGISTIC REGRESSION ALGORITHM

Multicollinearity in regression analysis arises when independent variables exhibit a high degree of correlation, which undermines the reliability of statistical interpretations (Hastie et al., 2009; Efron & Hastie, 2016). In our analysis, we applied the Generalized Variance Inflation Factors (GVIF) technique, as outlined by Alsubaie and Aldoukhi (2024). This analysis revealed that the variables *Department* and *Job Role* display significant multicollinearity, with *Department* particularly notable for far exceeding the threshold value of 5, while *Job Role* hovers around this boundary. Therefore, the researcher opted to eliminate the *Department* variable from the analysis, a decision further supported by the results of the Chi-Square test comparing the two variables.

Given the presence of class imbalance, we must optimize the model. The analysis is based on the weights assigned to each class. To achieve this optimization, we adjust the weights inversely in relation to class frequencies within the data. The results are presented in Table 6, where we find that the model achieves an accuracy of 76 %. This indicates that

every time we classify an employee’s likelihood of remaining with the company using the database, we achieve a 76 % accuracy rate in our predictions. Such a level of accuracy constitutes an acceptable outcome for our analysis.

In addressing an unbalanced database, it is crucial to conduct a thorough analysis of the model by examining the values of *precision*, *recall*, and *F1-score*. To gain insights, we will evaluate these metrics specifically for employees who left the company, i.e., those classified as *Attrition = 1*. The results indicate that the precision stands at 30 %, meaning that when the model predicts an employee will leave the company, it is correct only 30 % of the time. For example, if we input the data of a new employee into the algorithm and it predicts that the employee will leave, the algorithm achieves accuracy in only 30 % of cases, reflecting a relatively low level of reliability.

The model demonstrates a *recall* rate of 62 %, indicating its ability to accurately identify 62 % of the employees likely to leave the company. Although this figure provides some insight, it remains relatively low. Each time the algorithm processes an employee’s data, the probability of correctly predicting their departure stands at only 62 %. Furthermore, in terms of *precision*, the analysis reveals that when the algorithm predicts an employee’s departure, the likelihood of that prediction being accurate is only 30 %.

The current *recall* and *precision* values are suboptimal, necessitating improvement of these metrics. The algorithm struggles to accurately identify individuals likely to leave the company, largely due to the existing imbalance in the database. Initially, the researcher achieved an *accuracy* of 76 %; however, this figure demonstrates that it is not a reliable measure for assessing the performance of the algorithm.

The *F1-score* achieved is 41 %, which falls short of the objectives. However, upon analyzing the *Macro Avg* and *Weighted Avg*, it is noted the *F1-score* improves. To enhance the model’s performance metrics, the researcher refined the approach by focusing on the 11 most significant features identified through the *Recursive Feature Elimination* (RFE) technique.

Table 6
Key Performance Indicators (KPIs) for Binary Logistic Regression algorithm

| Attrition | Precision | Recall | F1 Score | Test Set |
|--------------|-----------|--------|----------|----------|
| 0 | 0,93 | 0,78 | 0,85 | 320 |
| 1 | 0,30 | 0,62 | 0,41 | 48 |
| Accuracy | | | 0,76 | 368 |
| Macro Avg | 0,62 | 0,70 | 0,63 | 368 |
| Weighted Avg | 0,85 | 0,76 | 0,79 | 368 |

The selection process ultimately identified 11 key features: *JobRole* (*Manager* category), *OverTime*, *Age*, *EnvironmentSatisfaction*, *JobInvolvement*, *YearsInCurrentRole*, *NumCompaniesWorked*, *TotalWorkingYears*, *JobSatisfaction*, *YearsSinceLastPromotion*, and *YearsWithCurrManager*. As presented in Table 7, the model demonstrated only a modest improvement, suggesting that it fell short of the significant enhancement that was anticipated.

Table 7

KPIs for Binary Logistic Regression algorithm with feature reduction

| Attrition | Precision | Recall | F1 Score | Test Set |
|--------------|-----------|--------|----------|----------|
| 0 | 0,93 | 0,79 | 0,86 | 320 |
| 1 | 0,30 | 0,66 | 0,42 | 48 |
| Accuracy | | | 0,77 | 368 |
| Macro Avg | 0,62 | 0,73 | 0,64 | 368 |
| Weighted Avg | 0,86 | 0,74 | 0,79 | 368 |

RANDOM FOREST ALGORITHM

Random Forest serves as a widely utilized ML algorithm that randomly generates multiple decision trees and aggregates their outputs to yield a single result. Its user-friendly design and inherent flexibility have led to its broad adoption, as it adeptly tackles both classification and regression challenges. However, the algorithm's complexity incurs higher computational costs, which are often associated with improved performance (Hastie et al., 2009; Efron & Hastie, 2016).

In the application of the Random Forest algorithm, this study employed the *Tree-Based Importance* technique to evaluate the significance of features within a *tree-based* ML model. The researcher defined feature importance using *Gini* importance, which represents the mean reduction of impurity in the model. This methodology assesses a feature's importance by quantifying its contribution to reducing impurity at the tree nodes. The analysis identified five key features: *MonthlyIncome*, *OverTime*, *DailyRate*, *Age*, and *TotalWorkingYears*. To enhance model performance, we initiated an optimization process employing 10-fold cross-validation, sampling five variables at random in each split, and constructing a total of 104 trees.

In this scenario, the researcher presents the results shown in Table 8. We can draw a parallel interpretation to that of the Binary Regression algorithm, noting that the results shown for the *accuracy* variable with the Random Forest algorithm are higher. However, it is important to acknowledge that the *accuracy* variable alone can be misleading. A closer examination of the values for *precision*, *recall*, and *F1-score* reveals that in comparison

to Binary Regression, *precision* experiences a significant increase, while both *recall* and *F1-score* demonstrate a substantial decrease. Based on these findings, we conclude that the Random Forest algorithm performs worse than the Binary Regression algorithm discussed in the previous section.

Table 8
Key Performance Indicators (KPIs) for Random Forest algorithm

| Attrition | Precision | Recall | F1 Score | Test Set |
|--------------|-----------|--------|----------|----------|
| 0 | 0,88 | 0,99 | 0,93 | 320 |
| 1 | 0,71 | 0,10 | 0,18 | 48 |
| Accuracy | | | 0,88 | 368 |
| Macro Avg | 0,80 | 0,55 | 0,56 | 368 |
| Weighted Avg | 0,86 | 0,88 | 0,84 | 368 |

ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS ALGORITHM

One of the foremost questions that arises when working with ANN is how many neurons and layers to incorporate into the network’s architecture. The prevailing literature indicates that, in most cases, a single hidden layer is adequate, as this structure can effectively approximate any nonlinear equation. Additionally, two hidden layers can represent any relationship between data, including those that traditional equations cannot express. Typically, researchers require more than two hidden layers only for more complex problems, such as time series analyses and computer vision (Goodfellow et al., 2016).

Depending on the nature of the problem, using too few hidden layers may result in underfitting, while an excessive number of layers can lead to overfitting. In the ANN algorithm, the researcher implemented three hidden layers, in addition to the input layer, which comprises 50 features, and the output layer, which consists of one response. To determine the number of neurons in each layer, the researcher selected a quantity equal to two-thirds of the size of the previous layer, plus the size of the output layer, starting from the input layer. Consequently, the number of neurons in each layer will be 34, 24, and 17, respectively.

In the input and hidden layers, we employ the *Rectified Linear Unit (ReLU)* as the activation function, widely recognized in the literature on DL models and *Convolutional Neural Networks (CNNs)*. This function is both simple and highly effective, generating a value that is directly proportional to the input. For the activation function in the output layer, the researcher employed the *Sigmoid* function, commonly referred to as the logistic function.

Selecting an appropriate optimizer for weight adjustments is a critical aspect of the NN model. In this study, the researcher chose the *Adaptive Moment Estimation (Adam)* optimization algorithm, a technique widely recognized in ML, and particularly in DL. Another important component of an ANN model is the loss function, also known as the error function. The loss function quantifies the effectiveness of the model in performing a specific task, in this case, classification. It calculates the difference between the predicted outputs of the ANN and the actual target values. This difference, referred to as the loss, indicates the accuracy of the model's predictions. For this study's model, the researcher employed the *binary cross-entropy* loss function, which is suitable for classification problems involving only two categories (discrete outputs) and is therefore the most appropriate choice for DL models.

The researcher selected *accuracy* as the primary metric to monitor during the training of the model, as it is related to the type of loss employed. The researcher recorded the metric values at the conclusion of each *epoch* on the training dataset. It is essential to clarify that an *epoch* represents the number of times the algorithm processes the training set, which allows for systematic recording and evaluation. For this model, we determined a total of 200 *epochs*.

Table 9 clearly indicates that the *F1-score* is superior to those of the previously analyzed models. The data reveals a distinct balance between *precision* and *recall*. In particular, the model demonstrates lower *precision* and higher *recall* relative to the Random Forest, while it exhibits higher *precision* and lower *recall* compared to Binary Regression. The *accuracy* of the model remains significantly high, comparable to the two preceding models. Given the issue of data imbalance, the researcher placed greater emphasis on the *F1-score*. Therefore, this study can conclude that this study's ANN model yields superior results for predicting employee turnover within the dataset under analysis.

Table 9
Key Performance Indicators (KPIs) for ANN algorithm

| Attrition | Precision | Recall | F1 Score | Test Set |
|--------------|-----------|--------|----------|----------|
| 0 | 0,92 | 0,93 | 0,92 | 320 |
| 1 | 0,48 | 0,46 | 0,47 | 48 |
| Accuracy | | | 0,86 | 368 |
| Macro Avg | 0,70 | 0,69 | 0,70 | 368 |
| Weighted Avg | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 368 |

DISCUSSION

The researcher developed three ML algorithms to predict employee turnover within a company, utilizing a dataset created by IBM. This dataset is widely recognized in the ML community for its clean structure, diverse and relevant attributes, and ease of access, making it suitable for educational purposes and the testing of predictive models. However, it has significant limitations, including synthetic data, organizational perspectives, class imbalance, and a lack of contextual variables, which diminish its external validity. Consequently, researchers should interpret the results with caution and, whenever possible, validate them with real, more representative data.

In the implementation of the Binary Regression algorithm, the researcher applied two approaches, with the second approach incorporating feature reduction to enhance model optimization. The team also tested the Random Forest algorithm using suitably optimized parameters. However, neither of these algorithms surpassed the performance of the ANN algorithm, which demonstrated the highest effectiveness in predicting employee turnover. The ANN algorithm achieved an *F1-score* of 47 % for the attrition class (*Attrition* = 1), a metric considered a more reliable indicator of model effectiveness than *accuracy* alone. Although the *accuracy* reached 86 %, indicating an 86 % probability of correct classification, the 47 % for the ANN model suggests that its performance is suboptimal despite its notable results for *accuracy*. This low *F1-score* indicated that the model struggles to correctly classify employee turnover, potentially due to issues such as class imbalance, overfitting, or inappropriate choice of hyperparameters. To improve performance in future work, it is recommended to apply techniques such as SMOTE (synthetic minority over-sampling technique), fine-tuning of hyperparameters, and stratified cross-validation.

The values indicate that the model accurately identifies 46 % of the employees likely to leave the company. Therefore, whenever an employee's data is input into the algorithm, there is a 46 % probability that the model will correctly predict their departure. Conversely, when the algorithm predicts that an employee will leave, there is a 48 % likelihood that this prediction is correct. In this context, the ANN algorithm has demonstrated greater efficiency than Binary Regression, which previous research by Alsubaie and Aldoukhi (2024) showed to be more effective. Furthermore, upon examining the values for *Macro Avg* and *Weighted Avg*, the researcher finds them to be quite satisfactory compared to the other two algorithms.

The researcher confirmed various insights through Chi-Square tests, RFE, and Gini importance criterion analyses. Notably, the variables *Age*, *OverTime*, and *TotalWorkingYears* exhibit a strong correlation with our target variable, *Attrition*, and reveal potential relationships with *MaritalStatus*, *DailyRate*, *MonthlyIncome*, and *DistanceFromHome*. These findings align with expectations; typically, a worker with more years of service is likely to remain employed with the company. This trend is closely tied to the worker's age

and is further influenced by marital status and proximity to the workplace. Conversely, a worker with fewer years at the company who frequently works overtime—whether due to economic necessity or sector demands—might consider leaving for better job opportunities. It is essential to recognize that these characteristics significantly impact the *Sales Representative* role, as individuals in this position generally receive the lowest salaries within the company.

In conclusion, our findings demonstrate that the incorporation of the ANN algorithm, even when applied in a straightforward manner, yields superior results compared to those currently reported in the literature, particularly in the study by Alsubaie and Aldoukhi (2024). This has revealed several valuable insights applicable to any company.

CONCLUSION

To mitigate employee turnover, companies should adopt several proactive strategies based on these insights. They should establish partnerships with automotive manufacturers or real estate agencies to provide accessible credit options. This strategy enables employees to finance vehicles that enhance their commuting efficiency or secure housing closer to the workplace. Furthermore, companies should implement training and development programs, both internally and externally, for new hires and long-term employees alike, thereby empowering them to pursue career advancement and increase their earning potential. Additionally, optimizing work distribution is crucial to prevent employees from becoming overwhelmed with excessive overtime, ensuring they have ample time to engage with family, friends, and personal interests. In summary, companies have a range of effective strategies at their disposal to reduce employee turnover.

To predict employee turnover effectively, companies must maintain stable systems and processes for collecting relevant data. This data should remain free from ethical or legal implications that could create challenges for the organization; only under these conditions can we feasibly develop ML models. Furthermore, a thorough understanding of these models, including their functionality, strengths, and limitations concerning the database, is essential. This knowledge allows researchers to identify relevant variables and continuously monitor them alongside the model's performance after deployment.

Future work will focus on enhancing the ANN algorithm, which has demonstrated the highest efficiency, with the objective of increasing the *F1-score*. In recent years, the proliferation of DL algorithms has led to the optimization and development of numerous libraries and procedures that can significantly improve the model's performance. Furthermore, leveraging real-world databases that incorporate a diverse range of variable types will provide valuable insights into the model's effectiveness. When working with these real databases, it is common practice to create new variables or indices that compile groups

of related variables. The approach not only synthesizes information but also effectively reduces the overall number of variables.

CONFLICTS OF INTEREST

The author declares no conflicts of interest.

CREDIT AUTHOR STATEMENT

Marcos A. Albarracin Manrique: conceptualization, data curation, formal analysis, investigation, methodology, project administration, resources, supervision, validation, software, visualization, writing: original draft, and writing: review & editing.

REFERENCES

- Adeyefa, A. E., Adedipe, A., Adebayo, I. N., & Adesuyan, A. J. (2023). Influence of green human resource management practices on employee retention in the hotel industry. *African Journal of Hospitality, Tourism and Leisure*, 12(1), 114-130. <https://doi.org/10.46222/ajhtl.19770720.357>
- Al-Suraihi, W. A., Samikon, S. A., Al-Suraihi, Al-H. A., & Ibrahim, I. (2021). Employee turnover: Causes, importance and retention strategies. *European Journal of Business Management and Research*, 6(3), 1-10. <https://doi.org/10.24018/ejbmr.2021.6.3.893>
- Albarracin Manrique, M. A. & Souza, F. (2021, October 6-7). Real Estate Price Valuation Using Machine Learning (in Portuguese). En *The 20th Conferência Internacional da Latin American Real Estate Society (LARES)*. <https://lares.architexturez.net/doc/lares-2021-4dqw>
- Almomani, A., Alauthman, M., Shatnawi, M. T., Alweshah, M., Alrosan, A., Alomoush, W., Gupta, B. B., Gupta, B. B., & Gupta, B. B. (2022). Phishing website detection with semantic features based on machine learning classifiers: A comparative study. *International Journal on Semantic Web and Information Systems*, 18(1), 1-24. <https://doi.org/10.4018/IJSWIS.297032>
- Alsubaie, F. & Aldoukhi, M. (2024). Using machine learning algorithms with improved accuracy to analyze and predict employee attrition. *Decision Science Letters*, 13(1), 1-18. <https://doi.org/10.5267/j.dsl.2023.12.006>
- An, S. H. (2019). Employee voluntary and involuntary turnover and organizational performance: Revisiting the hypothesis from classical public administration. *International Public Management Journal*, 22(3), 444-469. <https://doi.org/10.1080/10967494.2018.1549629>

- Cloutier, O., Felusiak, L., Hill, C., & Pemberton-Jones, E. J. (2015). The importance of developing strategies for employee retention. *Journal of Leadership, Accountability and Ethics*, 12(2), 119-129. http://www.na-businesspress.com/JLAE/Pemberton-JonesEJ_Web12_2_.pdf
- Dalton, D. R. & Mesch, D. J. (1990). The impact of flexible scheduling on employee attendance and turnover. *Administrative Science Quarterly*, 35(2), 370-387. <https://doi.org/10.2307/2393395>
- Duda, J., & Žůrková, L. (2013). Costs of employee turnover. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 61(7), 2071-2075. <https://doi.org/10.11118/actaun201361072071>
- Efron, B. & Hastie, T. (2016). *Computer Age Statistical Inference Algorithms, Evidence, and Data Science*. Cambridge University Press. <https://www.cambridge.org/core/books/computer-age-statistical-inference/E32C1911ED937D75CE159BBD21684D37>
- El Maanaoui, D., Jeaab, K., Najmi, H., Saoudi, Y., & Falloul, M. E. M. (2024). Machine learning in finance: Case of credit scoring. In Y. Farhaoui, A. Hussain, T. Saba, H. Taherdoost, & A. Verma (Eds.), *Artificial Intelligence, Data Science and Applications. ICAISE 2023 (Lecture Notes in Networks and Systems, 837, 8-16)*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-48465-0_2
- Fallucchi, F., Coladangelo, M., Giuliano, R., & William De Luca, E. (2020). Predicting employee attrition using machine learning techniques. *Computers*, 9(4), 86. <https://doi.org/10.3390/computers9040086>
- Fernandes, S. L., & Sharma, T. K. (2022). *Artificial intelligence in industrial applications: Approaches to solve the intrinsic industrial optimization problems* (1st ed.). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-85383-9>
- Gaurav, A., Gupta, B. B., & Panigrahi, P. K. (2023). A comprehensive survey on machine learning approaches for malware detection in IoT-based enterprise information system. *Enterprise Information Systems*, 17(3). <https://doi.org/10.1080/17517575.2021.2023764>
- Géron, A. (2019). *Hands-on machine learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow*. O'Reilly Media.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT Press.
- Gundlach, H. A. D. (2025). What really influences teacher attrition, migration, and retention? *The Australian Educational Researcher*, 52, 3079-3099. <https://doi.org/10.1007/s13384-025-00842-4>

- Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). *The elements of statistical learning data mining, inference, and prediction* (2nd ed). Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-0-387-84858-7>
- Hur, H. & Abner, G. (2023). What makes public employees want to leave their job? A meta-analysis of turnover intention predictors among public sector employees. *Public Administration Review*, 84(1), 115-142. <https://doi.org/10.1111/puar.13601>
- James, G., Witten, D., Hastie, T., Tibshirani, R. & Taylor J. (2023). *An introduction to statistical learning with applications in Python*. Springer.
- Juvitayapun, T. (2021, Jan 21-24). Employee turnover prediction: The impact of employee event features on interpretable machine learning methods. In *The 13th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST)*, 181-185. <https://doi.org/10.1109/KST51265.2021.9415794>
- Kelleher, J. D. & Tierney, B. (2018). *Data science*. The MIT Press.
- Kelleher, J. D. (2019). *Deep learning*. The MIT Press.
- Kelleher, J. D., MacNamee, B., & D'Arcy, A. (2015). *Fundamentals of machine learning for predictive data analytics: Algorithms, worked examples, and case studies*. MIT Press.
- Marsland, S. (2014). *Machine learning: An algorithmic perspective* (2nd ed.). Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/b17476>
- Murphy, K. P. (2022). *Probabilistic Machine Learning: An introduction*. MIT Press.
- Murphy, K. P. (2023). *Probabilistic Machine Learning: Advanced Topics*. MIT Press.
- Nagpal, P., Pawar, A., & Sanjay H. M. (2024, Feb 21-23). Predicting employee attrition through HR analytics: A machine learning approach. In *The 4th International Conference on Innovative Practices in Technology and Management (ICIPTM)*. 1-4. <https://doi.org/10.1109/ICIPTM59628.2024.10563285>
- Park, J., Feng, Y., & Jeong, S. P. (2024). Developing an advanced prediction model for new employee turnover intention utilizing machine learning techniques. *Scientific Reports*, 14, 1221. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-50593-4>
- Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Blondel, M., Prettenhofer, P., Weiss, R., Dubourg, V., Vanderplas, J., Passos, A., & Cournapeau, D. (2011). Scikit-learn: Machine learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 12, 2825-2830. <https://inria.hal.science/hal-00650905v2>
- Pelly, D. (2023). Worker well-being and quit intentions: Is measuring job satisfaction enough? *Social Indicators Research*, 169, 397-441. <https://doi.org/10.1007/s11205-023-03166-x>

- Prokopets, E. (2024). *The true cost of hiring an employee in 2024* [blog entry]. Toggl. <https://toggl.com/blog/cost-of-hiring-an-employee>
- Ribes, E., Touahri, K., & Perthame, B. (2017). Employee turnover prediction and retention policies design: a case study. *Computers and Society*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1707.01377>
- Rombaut, E, & Guerry, M. A. (2018). Predicting voluntary turnover through human resources database analysis. *Management Research Review*, 41(1), 96-112. <https://doi.org/10.1108/MRR-04-2017-0098>
- Russell, S. J., & Norvig, P. (2021). *Artificial intelligence: A modern approach*. Pearson.
- Sadiku, M., Ashaolu, T. J., Ajayi-Majebi, A., & Musa, S. (2021). Artificial intelligence in social media. *International Journal of Scientific Advances*, 2(1), 15-20. <https://doi.org/10.51542/IJSCIA.V2I1.4>
- Saradhi, V. V., & Palshikar, G. K. (2011). Employee churn prediction. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 1999-2006. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.07.134>
- Sharma, S. & Sharma, K. (2023, June 23-25). Analyzing Employee's Attrition and Turnover at Organization Using Machine Learning Technique. In *The 3rd International Conference on Intelligent Technologies (CONIT)*. 1-7. <https://doi.org/10.1109/CONIT59222.2023.10205676>
- Solomon, C. H., Mohankumar D. & Sivanandam, C. (2024, Feb 22-23). Employee attrition analysis using machine learning. In *The 2nd International Conference on Emerging Trends in Information Technology and Engineering (ICETITE)*. <https://doi.org/10.1109/ic-ETITE58242.2024.10493429>
- Soltaninejad, M., Aghazadeh, R., Shaghaghi, S., & Zarei, M. (2024). Using machine learning techniques to forecast Mehram company's sales: A case study. *Journal of Business and Management Studies*, 6(2), 42-53. <https://doi.org/10.32996/jbms.2024.6.2.4>
- Subhash, P. (2017). *IBM HR analytics employee attrition & performance*. Kaggle. <https://www.kaggle.com/pavansubhasht/ibm-hr-analytics-attrition-dataset>
- Tuzun, I. K. & Kalemci, R. A. (2012). Organizational and supervisory support in relation to employee turnover intentions. *Journal of Managerial Psychology*, 27(5), 518-534. <https://doi.org/10.1108/02683941211235418>
- Vasantham, S. T. & Aithal, S. (2022). A systematic review on importance of employee turnover with special reference to turnover strategies. *Irish Interdisciplinary Journal of Science & Research*, 6(4), 28-42. <https://doi.org/10.46759/ijjsr.2022.6404>

- Veglio, V., Romanello, R., & Pedersen, T. (2024). Employee turnover in multinational corporations: a supervised machine learning approach. *Review of Managerial Science*, 19, 687-728. <https://doi.org/10.1007/s11846-024-00769-7>
- Wang, W. & Sun, R. (2020). Does organizational performance affect employee turnover? A re-examination of the turnover-performance relationship. *Public Administration*, 98(1), 210-225. <https://doi.org/10.1111/padm.12648>
- Wassan, S., Suhail, B., Mubeen, R., Raj, B., Agarwal, U., Khatri, E., Gopinathan, S., & Dhiman, G. (2022). Gradient boosting for health IoT federated learning. *Sustainability*, 14(24), 16842. <https://doi.org/10.3390/su142416842>

BIOENERGY VALORIZATION OF BANANA PEEL WASTE THROUGH ENZYMATIC HYDROLYSIS: A CIRCULAR ECONOMY CASE IN MACHALA, ECUADOR

HUGO ROMERO BONILLA*

<https://orcid.org/0000-0002-7846-0512>

Grupo de Investigación de Aplicaciones Electroanalíticas y Bioenergía, Universidad
Técnica de Machala, Ecuador

CRISTIAN VEGA QUEZADA

<https://orcid.org/0000-0002-7525-2486>

Grupo de Investigación de Aplicaciones Electroanalíticas y Bioenergía, Universidad
Técnica de Machala, Ecuador

EDGAR TINOCO GALVEZ

<https://orcid.org/0009-0007-2920-0152>

Grupo de Investigación de Aplicaciones Electroanalíticas y Bioenergía, Universidad
Técnica de Machala, Ecuador

CRISTOPHER CHOEZ TOBO

<https://orcid.org/0009-0004-5761-6161>

Grupo de Investigación de Aplicaciones Electroanalíticas y Bioenergía, Universidad
Técnica de Machala, Ecuador

Received: June 12, 2025 / Accepted: August 16, 2025

Published: December 19, 2025

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2025.n049.7991>

This research received no external funding.

* Corresponding author

Author e-mails in order of appearance: hromero@utmachala.edu.ec; cvega@utmachala.edu.ec; etinoco@utmachala.edu.ec; cchoez1@utmachala.edu.ec

This is an open access article, distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) licence.

ABSTRACT. Researchers utilized an anaerobic reactor to estimate the reduction of CO₂ emissions in Machala, Ecuador, through the enzymatic hydrolysis of mature banana peels. With a weight-to-volume ratio of 60 %, the researchers achieved an estimated reduction of 37,419 t CO₂/year (102,45 t/day), with a purity of 99,97 %. This research supports a circular economy approach, projecting annual carbon credit incentives of 2813,2 dollars from glucose syrup production, with even greater potential returns if the process is expanded to include bioethanol production. The hydrolysis process yielded 5,91 g·L⁻¹ of glucose syrup. Furthermore, the bioeconomic potential of the resulting biogas is estimated between 21 and 24 million dollars, necessitating an initial investment of 2,5 to 2,6 million dollars. The absence of public financing incentives restricts private sector implementation. In contrast, producing bioethanol proves to be less profitable, especially when banana peels are used for generating biogas for electricity production.

KEYWORDS: banana / hydrolysis / enzymes / biogas / circular economy / carbon bonds

VALORIZACIÓN BIOENERGÉTICA DE LOS RESIDUOS DE CÁSCARA DE BANANO MEDIANTE HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA: UN CASO DE ECONOMÍA CIRCULAR EN MACHALA, ECUADOR

RESUMEN. Se utilizó un reactor anaeróbico para estimar la reducción de emisiones de CO₂ en Machala, Ecuador, mediante la hidrólisis enzimática de cáscaras de banano maduras. Con una relación peso/volumen de 60 %, se logró una reducción estimada de 37,419 t CO₂ /año (102,45 t/día), con una pureza del 99,97 %. Esto respalda un enfoque de economía circular, que podría generar incentivos por bonos de carbono de 2813,2 dólares anuales si se produce jarabe de glucosa, y más aún si se extiende a bioetanol. La hidrólisis produjo 5,91 g·L⁻¹ de jarabe de glucosa. El potencial bioeconómico del biogás generado se estima entre 21 y 24 millones de dólares, con una inversión inicial de 2,5 a 2,6 millones de dólares. No obstante, la falta de incentivos públicos limita su implementación privada. Comparativamente, la producción de bioetanol resulta menos rentable que la del biogás, especialmente si se destina a generación eléctrica.

PALABRAS CLAVE: plátanos / hidrólisis / enzimas / biogás / economía circular / bonos de carbono

INTRODUCTION

A substantial portion of household and commercial waste consists of organic or biodegradable materials (57 %), including food scraps, yard trimmings, and other degradable matter collectively categorized as Biodegradable Municipal Waste (BMW) (Cardenas Astudillo et al., 2022). Furthermore, waste generated by the food industry and related sectors constitutes a significant segment of BMW (Allegue et al., 2020), with a considerable amount consisting of fruit and vegetable peels (Mittal & Sharma, 2024).

Lignocellulosic residues from banana plants, such as rachis, pseudostems, peels, and leaves, offer significant potential for producing second-generation biofuels, including bioethanol and biogas. A recent study in Ecuador assessed the biomass generation potential in key banana-producing provinces, notably El Oro. The researchers reported a residue-to-product ratio of approximately 3,8, estimating that Ecuador generates around 2,65 million tonnes of dry banana residual biomass annually. In El Oro, researchers measured an average carbon stock of 5,13 megagrams per hectare and estimated the carbon abatement potential to be approximately 3,92 million tonnes of carbon dioxide per year. These findings indicate a significant availability of untapped lignocellulosic feedstock for sustainable energy valorization in the region (Ortiz-Ulloa et al., 2021).

El Oro province encompasses approximately 36,254 hectares (ha) of banana plantations that primarily focus on exportation (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2024). In addition to serving export markets, local banana production fulfills domestic consumption needs and supplies essential raw materials for the agri-food industry. Several companies in the region specialize in transforming mature banana pulp into flour, puree, and nectar.

Globally, researchers estimate that producers cultivate approximately 114 million metric tonnes of bananas each year. Notably the peel constitutes about 30-40 % of the banana's weight, a substantial portion that the food industry commonly discards as waste (Putra et al., 2022). In 2023, the Continuous Agricultural Area and Production Survey (ESPAC) reported that the province of El Oro in Ecuador generated around 1,48 million metric tonnes of bananas, thereby establishing itself as one of the country's primary banana-producing regions (INEC, 2024). These discarded peels undergo natural aerobic fermentation, which leads to the emission of greenhouse gases (GHGs), including methane (CH_4), carbon dioxide (CO_2), and others.

Enzymatic hydrolysis of banana peels serves as an effective strategy for transforming lignocellulosic waste into fermentable sugars that can be used to produce bioethanol or biogas. By employing enzymes such as cellulase, this process avoids the intensive use of harsh chemicals and high temperatures, thereby reducing energy consumption and emissions compared to traditional industrial methods. Research demonstrates that, after

an adequate pretreatment stage, enzymatic hydrolysis achieves high yields of reducing sugars, thereby enhancing ethanol production during fermentation processes (Jennita Jacqueline & Velvizhi, 2024). By converting organic waste into renewable energy, this approach mitigates the need for landfill disposal, which would otherwise result in the generation of greenhouse gases such as methane. This valorization of energy directly contributes to reducing net carbon emissions, aligning with the principles of a circular economy and promoting environmental sustainability (Alzate Acevedo et al., 2021).

Converting banana peel waste into renewable energy prevents its disposal in landfills, where anaerobic decomposition would generate methane. Instead, this model recovers energy through technologies such as microbial fuel cells and anaerobic digestion. This approach enhances resource efficiency, reduces net carbon emissions, and fully embodies the principles of the circular economy (Rincón-Catalán et al., 2022).

The model highlights the interaction between urban, agro-industrial, and livestock waste streams by reframing biodegradable residues as valuable resources. By drawing on the Chinese circular economy approach, it emphasizes a multilevel strategy: promoting cleaner production at the micro level, fostering industrial symbiosis at the meso level, and advocating for supportive public policies at the macro level.

In this context, the valorization of banana peels in Machala illustrates how local bioenergy initiatives align with the overarching objectives of resource efficiency and sustainable development. The model incorporates a color-coding system: Red, representing the “red economy”, signifies the non-treatment of biodegradable waste. Green, associated with the “green economy”, indicates the treatment of biodegradable waste and includes two environmentally viable alternatives for second-generation biofuel production, while recognizing certain limitations in their profitability when biofuels serve as the sole product or activity. Finally, blue is related to the “blue economy” and encompasses supplementary activities that utilize inputs from previous processes to produce goods that benefit the agro-industry and livestock production, thereby completing a virtuous circle. This approach capitalizes on biotechnological synergies, generating systemic benefits that would not emerge independently among the activities within the framework.

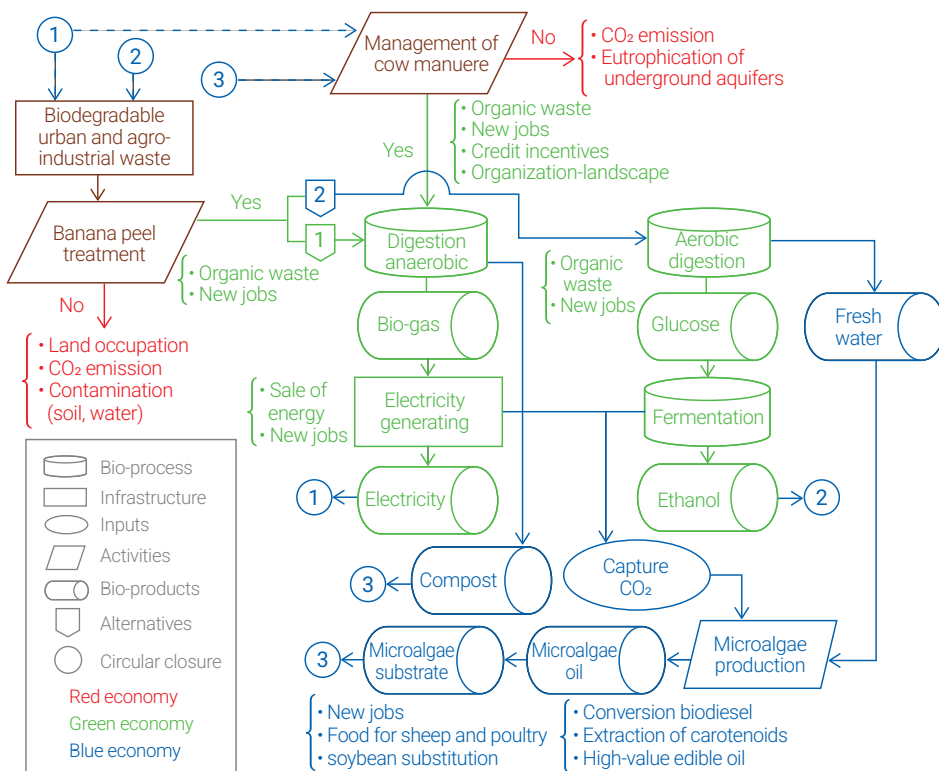
Among the identified alternatives for banana peel utilization, two options have emerged: the production of biogas for electricity generation and the production of ethanol as a biofuel. Adopting an integrated approach that considers economic, environmental, and social dimensions, such as poverty reduction and carbon emissions, researchers assess bioenergy systems using tools like cost-benefit analysis, CO₂-equivalent emission evaluations, and multicriteria decision analysis (Vega Quezada, 2018). Furthermore, incorporating CO₂ capture serves as a critical input for the production of microalgae and their associated by-products.

This integrated approach enables a quantitative assessment of environmental, economic, and social indicators within our proposed circular scheme that utilizes mature banana peels. The primary focus of this study lies in economically quantifying the environmental benefits derived from biogas and ethanol production. To evaluate the biotechnological potential, the researchers conducted an experimental assessment of greenhouse gas GHG emissions from banana peels and their conversion into glucose. This assessment will be supported by estimations of glucose into ethanol, as documented in the existing literature.

Figure 1 illustrates a comprehensive process flow diagram for the proposed circular model, which actively valorizes specific organic wastes, including cow manure and banana peels, as well as other biodegradable urban and agro-industrial waste.

Figure 1

Summary of the process flow for the proposed circular model



METHODOLOGY

Assessment of the bio-economic potential of mature banana peel

This study employs specific methodological tools to establish the bio-economic potential of the banana peel, which are detailed below:

Biogas production

To assess biogas production derived from the anaerobic digestion of urban and agro-industrial biodegradable waste, including livestock manure, it was essential to identify the equivalent CO_2 emissions associated with the livestock inventory. This evaluation is associated with livestock inventory. This evaluation utilized the methodology set forth by the Environmental Protection Agency (US Environmental Protection Agency, 2013), which has been effectively applied in previous studies on circular economy dynamics, as demonstrated by Vega Quezada (2018).

The study determined the CO_2 emissions from mature banana peels and estimated biogas production from a combination of husks and livestock manure using experimental methods. Additionally, we estimated electric production levels by analyzing the CH_4 percentage per cubic meter in the biogas generated during the experiments.

This study expresses all monetary quantifications in US dollars and evaluates them using a cost-benefit analysis (BCA) based on the net present value criterion. The analysis applies discount rates of 6,48 % and 8,84 % to the monetary flows (Vega Quezada, 2018).

Production of ethanol

The second alternative for utilizing urban and agro-industrial biodegradable waste focuses on the production of ethanol. This approach includes an experimental design phase dedicated to converting biomass into glucose, a thorough literature review on ethanol production from glucose, and an evaluation of the opportunity cost of exchanging CO_2 emissions for Certified Emission Reductions (CERs), expressed in US dollars. Researchers executed these evaluations through a cost-benefit analysis (BCA) that incorporates the discount rates as described in the preceding section.

Reactor to store CO_2 generated by mature banana peel

The setup utilized a 20-litre plastic tank, commonly used for storing purified water. This tank included an inlet and an outlet valve. To facilitate the substrate's descent to the bottom of the tank, we positioned a 60 cm long PVC pipe with a diameter of 3/4 inches at the top inlet. Additionally, we placed the outlet valve at the tank's base to enable the discharge of the generated biogas.

Monitoring the volume of CO₂ generated by the mature banana peel

We measured the volume of CO₂ generated by the mature banana peel three times a day, using a propylene bag as the sampling system.

Determination of the CO₂ concentration produced in the reactor from the residues of mature banana peel

We conducted on-site analysis of the generated CO₂ using a FULI Gas Chromatograph equipped with flame ionization (FID) and thermal conductivity (TCD) detectors, along with a capillary column (Supel-Q PLOT, 30 m × 0,32 mm × 40 Å). We utilized hydrogen as the carrier gas, maintaining the furnace, injector, and flame ionization detector at temperatures of 250 °C, 250 °C, and 350 °C, respectively. To ensure accuracy, we constructed a calibration curve using CO₂ as the reference standard and performed all measurements in duplicate.

Conversion of litres of CO₂ to tonnes of CO₂ that are no longer emitted

The gas density, measured at 1,96 g·L⁻¹, facilitated the calculation of the metric tonnes of CO₂ generated from mature banana peel residues.

Determination of the biotechnological potential of mature banana peels

Biotechnological processes such as enzymatic hydrolysis and alcoholic fermentation convert mature banana peels into glucose and bioethanol, with the latter serving as a second-generation biofuel. To optimize both the yield and kinetics of the bioconversion of lignocellulosic residues into biofuels, the inclusion of pretreatment stages proves essential in this biotechnological process.

Pretreatment of grinding + hydroxide for enzymatic hydrolysis

To initiate the lignocellulosic degradation process, we first milled the banana husk and then added 1 % sodium hydroxide to raise the pH to 11. We allowed the biomass to stand for one day. Subsequently, we introduced citric acid until the pH reached 5, which is the optimal pH for effective fungal adaptation during the enzymatic hydrolysis process.

The methodology employed enzymatic hydrolysis using cellulases that convert the cellulose in banana peels into glucose. We utilized the *Trichoderma reesei* species as the enzyme-producing agent for this transformation. Following pretreatment, we prepared 4 L bioreactors and maintained them at room temperature (28 °C-30 °C) for six days, conducting daily glucose content monitoring. For this purpose, 5 ml of each sample underwent pre-filtration. In accordance with the recommendations of Romero et al (2015), the researchers applied a weight/volume (w/v) ratio of 60 % of lignocellulosic residue to water, resulting in a total substrate volume of 2 L (biomass). They subjected this substrate to enzymatic hydrolysis with *Trichoderma reesei* at a concentration of 0,6 g·L⁻¹ (w/v). Before

enzymatic hydrolysis, manual agitation ensured the even distribution of cellulase enzymes, which are crucial for converting cellulose into glucose.

RESULTS

This analysis investigates the bio-economic potential of converting urban, agro-industrial, and livestock biodegradable waste into biogas, covering the study period from 2014 to 2025. Figure 1 illustrates the byproducts generated from the agro-industrial and livestock sectors. As shown in Figure 2, the estimated volume of banana peels during this period ranges from 16,380 to 19,294 tonnes. Aerobic decomposition of these peels generates CO₂ emissions totaling approximately 213 to 251 tonnes across the study horizon.

The analysis presents the equivalent monetary value of mitigating CO₂ emissions from banana peels. It highlights that these potential monetary benefits, arising from CO₂ mitigation, represent an opportunity cost since they do not generate income until stakeholders implement mitigation initiatives. An important factor to consider is the necessity of utilizing a specific quantity of 1000 kg cattle units alongside banana peels to effectively execute GHG mitigation strategies within the framework of a circular economy. This approach emphasizes the conversion of biodegradable waste, including both animal and livestock byproducts, into valuable outputs that can support biotechnological processes, such as biogas production for energy purposes, as illustrated in Figure 3 below.

Figure 2

CO₂ emissions from the banana peel and the livestock inventory

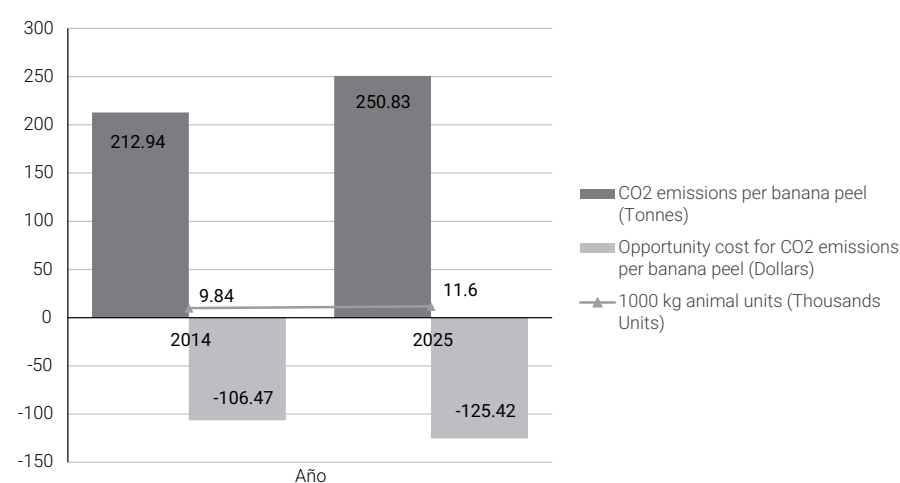
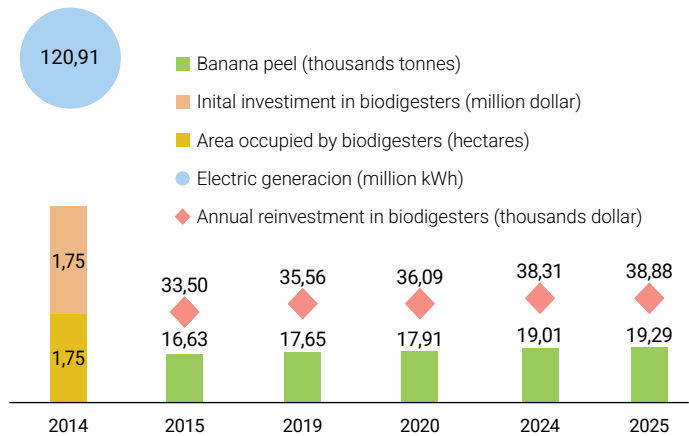


Figure 3 presents estimates for the initial investment required, the expected availability of banana husks, the land area necessary for implementing this initiative, the periodic

reinvestment needed to manage the increasing residues, and the projected total electricity generation from biogas combustion over the period of 2014 to 2025.

Figure 3

Investment, revenue, and energy production from the combustion of biogas



Furthermore, Figure 4 presents the CO₂ emissions generated by the combustion of biogas for energy production and by manure management, while accounting for the changes in biogas production throughout the study period. Notably, the emissions from biogas combustion exceed the equivalent CO₂ emissions from manure management in the livestock sector.

Figure 4

CO₂ emissions and opportunity cost in biogas combustion and manure management

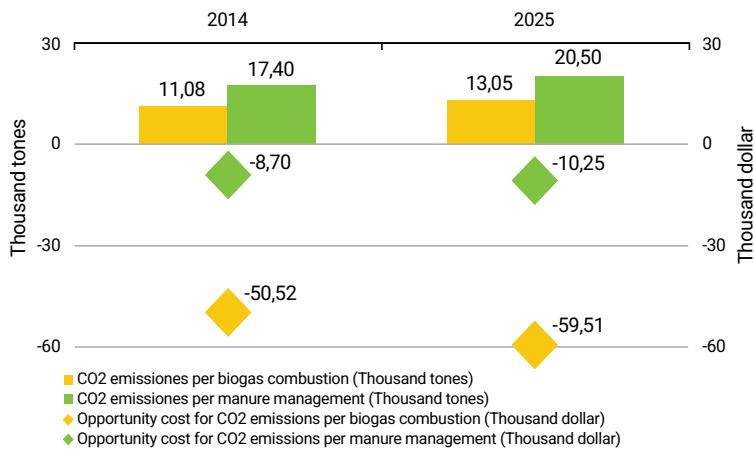


Table 1 summarizes the economic, environmental, and social indicators associated with the implementation of the biogas production initiative for energy purposes. This initiative estimates a Net Present Value (NPV) between 23,71 to 20,67 million dollars. While the initiative may initially appear economically unviable when focused solely on electricity generation, the circular flow of by-products for agro-productive purposes, such as fertilizers, reveals the systemic effects of the proposed scheme. By capitalizing on potential revenue from by-products and transforming the opportunity costs of environmental liabilities into income through mitigation, the initiative yields significant monetary benefits, ranging from 125,94 and 110,89 thousand dollars. This initiative also aims to reduce approximately 374 thousand tonnes of CO₂ emissions and has the potential to create a positive socio-economic impact at the local level, directly employing 3508 households.

Table 1
Assessing economic, environmental, and social indicators of biogas production from agro-industrial and livestock waste within a circular economy

| | Biogas | Discount rate (k) | | Unit |
|--------------------------|---|-------------------|--------|------------------|
| | | 6,48 % | 8,84 % | |
| Economic indicators | (+) Electricity sales revenue | 2,8 | 2,48 | million dollars |
| | (-) Biodigester + Electric generators | 2,62 | 2,54 | million dollars |
| | (-) Labor cost | 156,86 | 138,12 | million dollars |
| | (+) Liquid fertilizer | 150,98 | 132,94 | million dollars |
| | (+) Solid fertilizer | 29,41 | 25,9 | million dollars |
| | (=) NPV | 23,71 | 20,67 | million dollars |
| | Opportunity cost | | | |
| | (+/-) CO ₂ emissions - Banana peel | 0,93 | 0,82 | thousand dollars |
| | (+/-) CO ₂ emissions - Manure management | 76,37 | 67,25 | thousand dollars |
| | (+/-) CO ₂ emissions - Biogas combustion | 48,63 | 42,82 | thousand dollars |
| Environmental indicators | (=) NPV | 125,94 | 110,89 | thousand dollars |
| | CO ₂ emissions - Banana peel | 2,78 | | thousand tonnes |
| | CO ₂ emissions - Manure management | 226,92 | | thousand tonnes |
| | CO ₂ emissions - Biogas combustion | 144,49 | | thousand tonnes |
| | Total CO ₂ emissions | 374,19 | | thousand tonnes |

(continúa)

(continuación)

| Biogas | | Discount rate (k) | | Unit |
|-------------------|-------------------|-------------------|--------|-------------|
| | | 6,48 % | 8,84 % | |
| Social indicators | New jobs | 3 508 | | people |
| | Water requirement | 149,53 | | thousand m³ |

The second method for utilizing urban waste, particularly mature banana peels, involves the production of ethanol. Figure 5 depicts the main inputs, products, and by-products generated during the analysis period. This figure highlights the anticipated production of just over 1,15 million litres of ethanol throughout the study period, alongside an estimated water requirement of approximately 85,45 million litres for the enzymatic hydrolysis process used to obtain glucose.

Figure 5

Main inputs and by-products in the production of ethanol from banana peels

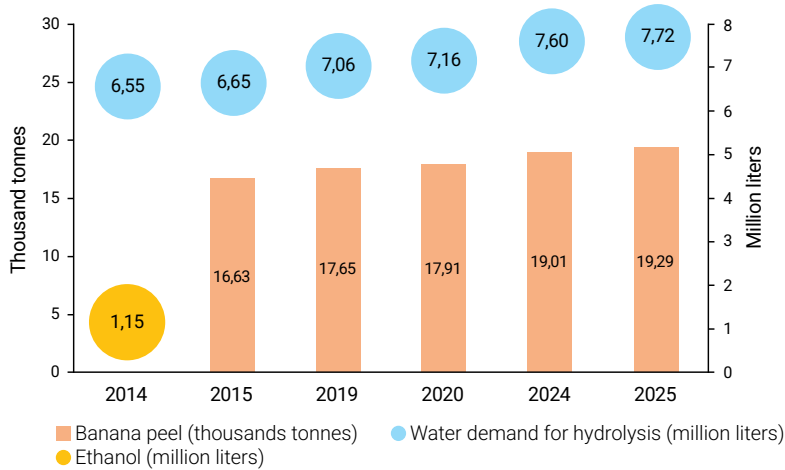
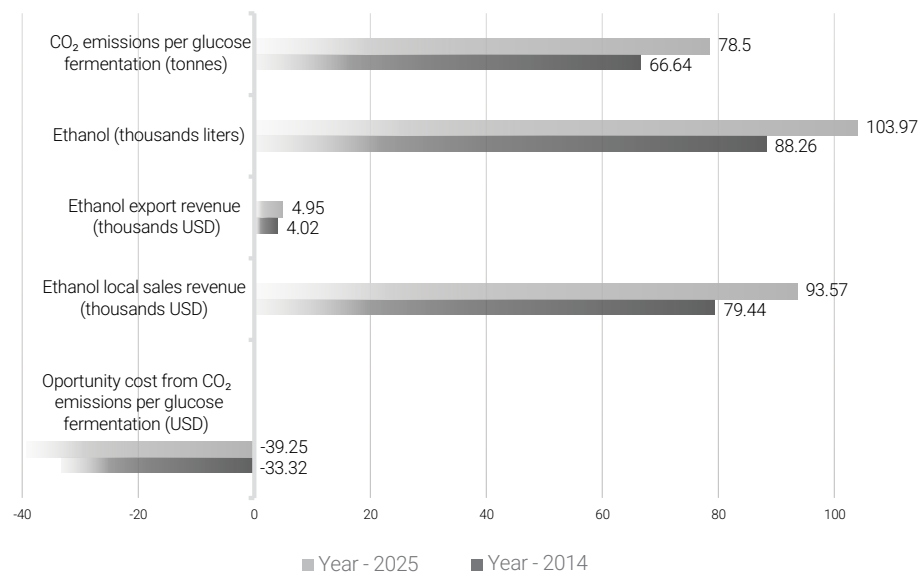


Figure 6 illustrates the progression of CO₂ emissions resulting from the glucose fermentation process, while concurrently highlighting the opportunity cost linked to CO₂ emissions from the decomposition of banana peels. This figure also details the evolving potential revenues from ethanol sales under two distinct trade scenarios. The first scenario estimates earnings derived from exporting ethanol at international prices (OECD/FAO, 2016), whereas the second quantifies revenue generated from local ethanol sales, taking into account incentives for domestic biofuel production in Ecuador.

Figure 6
CO₂ emissions and opportunity cost in ethanol production



The analysis of economic, environmental, and social indicators related to the utilization of biodegradable municipal waste in ethanol production reveals significant contrasts in potential revenues from ethanol sales between the global and local markets, as illustrated in Table 2. However, researchers were unable to quantify the costs associated with the investment and operational aspects of ethanol production due to limitations in the available official literature during the study period. Estimates indicate that CO₂ emissions from ethanol production totaled 3,65 thousand tonnes. Furthermore, the estimated opportunity

costs and potential monetary benefits of initiatives aimed at reducing CO₂ emissions range from 1,08 to 1,23 thousand dollars.

Table 2
Economic, environmental and social indicators of agro-industrial waste use in ethanol production under the circular economy approach

| Ethanol | | Discount rate (k) | | Unit |
|--------------------------|--|-------------------|--------|-------------------------|
| | | 6,48 % | 8,84 % | |
| Economic indicators | (+) Ethanol sales revenue – world price | 33,09 | 29,07 | thousands of dollars |
| | (+) Ethanol sales revenue – local price | 697,34 | 614,02 | thousands of dollars |
| | (-) Investment and labor cost | N/A | N/A | thousands of dollars |
| | Opportunity cost | | | |
| | (+/-) CO ₂ emissions – Banana peel | 0,93 | 0,82 | thousands of dollars |
| | (+/-) CO ₂ emissions – Glucose fermentation | 0,29 | 0,26 | thousands of dollars |
| | (=) NPV (Net Present Value) | 1,23 | 1,08 | thousands of dollars |
| Environmental indicators | CO ₂ emissions – Banana peel | | 2,78 | thousand tonnes |
| | CO ₂ emissions – Glucose fermentation | | 0,87 | thousand tonnes |
| | Total CO ₂ emissions | | 3,65 | thousand tonnes |
| Social indicators | New jobs | | N/A | People |
| | Residual fresh water | | 170,89 | thousand m ³ |

DISCUSSION

Glucose concentrations in the syrup reached a mean of approximately 5 g·L⁻¹ by the sixth day of experimentation. This result aligns with the findings of other researchers, such as Abdulla et al. (2022), who reported values of 5,31 g·L⁻¹, and Indulekha et al. (2020) who found 4,24 g·L⁻¹ for the enzymatic hydrolysis of dried banana peels—a process that inherently involves higher pretreatment costs. While earlier studies focused on optimizing sugar yields using dried peel inputs with a response surface methodology, our findings highlight the sensitivity of yield to pretreatment methods because they are derived from undried substrate conditions. Furthermore, they show the potential trade-off between cost and enzymatic efficiency.

Conversely, producing biogas from this residue demonstrates a substantial bioeconomic potential, estimated at between 21 and 24 million dollars annually.

However, this potential depends on an initial investment of approximately 2,5 to 2,6 million dollars. In the absence of public funding incentives, this economic barrier presents a significant challenge for private sector adoption.

In contrast, ethanol production has demonstrated lower profitability. Its economic viability relies heavily on state support through various incentives and regulatory frameworks. Brazil serves as a prominent example, where long-term policies have successfully driven the expansion of the ethanol market. Specifically, the production of flex-fuel vehicles surged from 49,264 units in 2003 to over 2,95 million units in 2013, thereby consolidating a robust domestic market for this biofuel (Karp et al., 2021). As of 2023, Brazil holds the position of the second-largest ethanol producer globally, generating 32,95 billion litres, which constitutes approximately 30 % of total global production (Hayashi, 2024). In 2018, ethanol represented 6,4 % of the country's overall energy consumption (Karp et al., 2021).

The Brazilian government implemented the RenovaBio program in 2017, playing a pivotal role in decarbonizing the energy sector. In 2022, the program succeeded in avoiding 71,1 million metric tonnes of CO₂ equivalent and aims to achieve a cumulative reduction of 678 million metric tonnes by 2030 (Hayashi, 2024).

While ethanol supports climate goals and aligns with Sustainable Development Goal 7 (SDG7), its adoption in Brazil remains inconsistent due to seasonal competitiveness and regional disparities. Forecasts suggest that gasoline will continue to dominate fuel consumption through 2030, highlighting the challenges of shifting consumer behavior and market dynamics toward renewable alternatives (Marques Serrano et al., 2025).

The data strongly indicate that in developing countries like Ecuador, implementing robust public policies aligned with the Sustainable Development Goals (SDGs) could enhance the viability of ethanol production from agricultural waste. In the absence of such policies, this study reveals that biogas production presents a more profitable and readily implementable alternative.

CONCLUSIONS

The implementation of this initiative in the city of Machala, Ecuador, could prevent the emission of approximately 374,19 thousand tonnes of CO₂ over the designated time horizon, achieving a capture purity of 99,97 %. This reduction underscores the environmental significance of the proposed bioethanol production scheme, especially in urban areas facing increasing energy demands and sustainability challenges.

The bioeconomic potential of ethanol production is contingent on keeping production costs below the projected revenue range, estimated to be between USD 614 000

and 698 000. During the study period, the anticipated output exceeded 1,15 million litres of ethanol. This production process requires approximately 85,45 million litres of water, primarily for the enzymatic hydrolysis stage, which is essential for glucose generation. These figures highlight the importance of resource efficiency and process optimization in achieving long-term economic viability.

The initiative, while initially perceived as economically unviable when evaluated solely for electricity generation, reveals its true potential through the integration of by-products into agro-productive systems. By-products, such as organic fertilizers, generate additional revenue streams and underscore the broader systemic effects of the project. Current estimates suggest that the monetary gains from these by-products, along with the conversion of environmental liability costs into productive income, will range between USD 110 890 and 125 940. Furthermore, the initiative is expected to reduce approximately 374 000 tonnes of CO₂ emissions throughout its operational period. In addition to its environmental advantages, the project provides significant socio-economic advantages, directly employing around 3 508 households, thereby making a meaningful contribution to local development and social inclusion.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare they have no conflicts of interest.

CREDIT AUTHOR STATEMENT

Hugo Romero Bonilla: conceptualization, secured funding, research methodology, project administration, resources, supervision, writing: original draft. **Cristhian Vega Quezada:** conceptualization, data curation, formal analysis, research, methodology, project administration, software, visualization. **Edgar Tinoco Galvez:** Formal analysis, methodology, software, validation, visualization. **Cristopher Manuel Choez Tobo:** investigation, visualization, writing: original draft, writing: review & editing.

REFERENCES

- Abdulla, R., Johnny, Q., Jawan, R., & Sani, S. A. (2022). Agrowastes of banana peels as an eco-friendly feedstock for the production of biofuels using immobilized yeast cells. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1103(1), 012022. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1103/1/012022>
- Allegue, L. D., Puyol, D., & Melero, J. A. (2020). Food waste valorization by purple phototrophic bacteria and anaerobic digestion after thermal hydrolysis. *Biomass and Bioenergy*, 142, 105803. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105803>

- Alzate Acevedo, S., Díaz Carrillo, Á. J., Flórez-López, E., & Grande-Tovar, C. (2021). Recovery of banana waste-loss from production and processing: A contribution to a circular economy. *Molecules*, 26(17), 5282. <https://doi.org/10.3390/molecules26175282>
- Cardenas Astudillo, A. J., Vásquez Vera, M. M., Vera Bravo, M. L., Villamil Valencia, I. A., & Calderón Pincay, J. M. (2022). Origen y composición de los residuos sólidos en la ciudad de Calceta, Manabí. *Revista ESPAMCIENCIA*, 13(2), 62-65. https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v13i2.311
- Hayashi, T. (2024). *Brazil biofuels annual report 2024. GAIN Report BR2024-0022*. https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Biofuels+Annual_Brasilia_Brazil_BR2024-0022.pdf
- Indulekha, J., Prasanthi, Y., & Arunagiri, A. (2020). Production of bioethanol from banana peel using isolated cellulase from *Aspergillus Niger*. En *Global challenges in energy and environment: Select proceedings of ICEE 2018* (pp. 9-18). Lecture Notes on Multidisciplinary Industrial Engineering. https://doi.org/10.1007/978-981-13-9213-9_2
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2024). *Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua - ESPAC 2023*. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/2023/Principales_resultados_ESPAC_2023.pdf
- Jennita Jacqueline, P., & Velvizhi, G. (2024). Co-fermentation exploiting glucose and xylose utilizing thermotolerant *S. cerevisiae* of highly lignified biomass for biofuel production: Statistical optimization and kinetic models. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 58, 103197. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2024.103197>
- Karp, S. G., Medina, J. D. C., Letti, L. A. J., Woiciechowski, A. L., Carvalho, J. C., Schmitt, C. C., Penha, R. O., Kumlehn, G. S., & Soccol, C. R. (2021). Bioeconomy and biofuels: The case of sugarcane ethanol in Brazil. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 15(3), 899-912. <https://doi.org/10.1002/bbb.2195>
- Marques Serrano, A., dos Santos Martins, P., Vergara, G., Bispo, G., Pimenta, G., Rezende, L., Noschang, M., Neumann, C., Mendonça, M., & Pereira, V. (2025). Forecasting ethanol and gasoline consumption in Brazil: Advanced temporal models for sustainable energy management. *Energies*, 18(6), 1501. <https://doi.org/10.3390/en18061501>
- Mittal, V., & Sharma, A. (2024). From scraps to solutions: Harnessing the potential of vegetable and fruit waste in pharmaceutical formulations. *Letters in Functional Foods*, 1, Artículo e230124225963. <https://doi.org/10.2174/012666939027100>

1231122051310

- OECD/FAO. (2016). *OECD-FAO agricultural outlook 2016-2025*. OECD Publishing, Paris. https://doi.org/10.1787/agr_outlook-2016-en
- Ortiz-Ulloa, J. A., Abril-González, M. F., Pelaez-Samaniego, M. R., & Zalamea-Piedra, T. S. (2021). Biomass yield and carbon abatement potential of banana crops (*Musa spp.*) in Ecuador. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(15), 18741-18753. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09755-4>
- Putra, N. R., Aziz, A. H. A., Faizal, A. N. M., & Che Yunus, M. A. (2022). Methods and potential in valorization of banana peels waste by various extraction processes: In review. *Sustainability*, 14(17), 10571. <https://doi.org/10.3390/su141710571>
- Rincón-Catalán, N. I., Cruz-Salomón, A., Sebastian, P. J., Pérez-Fabiel, S., Hernández-Cruz, M. d. C., Sánchez-Albores, R. M., Hernández-Méndez, J. M. E., Domínguez-Espinosa, M. E., Esquinca-Avilés, H. A., Ríos-Valdovinos, E. I., & Nájera-Aguilar, H. A. (2022). Banana waste-to-energy valorization by microbial fuel cell coupled with anaerobic digestion. *Processes*, 10(8), 1552. <https://doi.org/10.3390/pr10081552>
- Romero, H., Ayala, H., & Lapo, B. (2015). Effect of three pre-treatments of banana peel for obtaining glucose syrup by enzymatic hydrolysis. *Advances in Chemistry*, 10(1), 79-82. <http://www.scopus.com/inward/record.url?scp=85018761402&partnerID=8YFLogxK>
- US Environmental Protection Agency. (2013). *Inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks: 1990-2011*. <https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks-1990-2011>
- Vega Quezada, C. A. (2018). *Sinergias entre agricultura y bioenergía como estrategia de desarrollo desde los bordes en los países de América Latina: caso de frontera entre Ecuador y Perú* [Doctoral Dissertation, Universidad Politécnica de Madrid]. Archivo Digital, Universidad Politécnica de Madrid. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.53164>

INDICADORES PARA MEDIR LA ADQUISICIÓN DE COMPETENCIAS EN LAS PRIMERAS EXPERIENCIAS PROFESIONALES EN INGENIERÍA

MARÍA VELIA ARTIGAS

<https://orcid.org/0000-0002-3773-0029>

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina

ADOLFO EDUARDO ONAINE*

<https://orcid.org/0000-0001-9532-9631>

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina

LUCIANA SOLEDAD SANTILLE

<https://orcid.org/0000-0001-8448-5639>

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina

Recibido: 5 de junio del 2025 / Aceptado: 30 de junio del 2025

Publicado: 19 de diciembre del 2025

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2025.n049.7975>

RESUMEN. El artículo analiza el grado de adquisición de competencias profesionales en estudiantes avanzados y graduados recientes de carreras de ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata durante sus primeras experiencias laborales. Frente a la necesidad de conocer si la formación universitaria responde a las demandas reales del mercado, el estudio aplica dos indicadores —el Indicador de Adecuación de la Competencia (IAC) y el Indicador de Desarrollo de la Competencia (IDC)— para evaluar la relación entre lo aprendido, lo esperado y lo requerido en el ámbito profesional. A partir de un enfoque exploratorio y descriptivo, se relevó una muestra de 53 participantes mediante cuestionarios autoadministrados que midieron cinco competencias genéricas: resolución de problemas de ingeniería, trabajo en equipo, comunicación efectiva, aprendizaje autónomo y gestión de

Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

* Autor corresponsal

Correos electrónicos en orden de aparición: aeonaine@fi.mdp.edu.ar; mvartigos@fi.mdp.edu.ar, lsantille@fi.mdp.edu.ar

Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

relaciones interpersonales. Los resultados muestran expectativas formativas elevadas y brechas variables entre lo adquirido y lo demandado laboralmente, con diferencias notorias entre Ingeniería Industrial y el conjunto de todas las carreras. El estudio concluye que la medición sistemática de estas competencias constituye una herramienta valiosa para el seguimiento y mejora de los nuevos planes de estudio orientados al modelo educativo basado en competencias.

PALABRAS CLAVE: desempeño laboral / competencias profesionales / ingenieros industriales / enseñanza superior / estudiantes / graduados

INDICATORS FOR ASSESSING SKILL DEVELOPMENT IN INITIAL ENGINEERING PROFESSIONAL EXPERIENCES

ABSTRACT. This article examines the extent to which advanced engineering students and recent graduates from the Universidad Nacional de Mar del Plata (Argentina) perceive they have acquired key competencies during their initial professional experiences. To address the limited understanding of whether their academic training aligns with labor market expectations, the study employs two indicators—the Competence Adequacy Indicator (IAC) and the Competence Development Indicator (IDC)—to evaluate the relationship between what students learned, what they expected to learn, and what was required in the workplace. Using an exploratory and descriptive approach, the research surveyed 53 individuals through self-administered questionnaires assessing generic, technological, and social competencies. The findings reveal high expectations regarding competency training and varying gaps between perceived acquisition and workplace demands, with notable differences between Industrial Engineering students and the broader engineering cohort. The study concludes that these indicators offer a valuable reference for monitoring the effectiveness of the faculty's new competency-based curricula.

KEYWORDS: job performance / professional skills / industrial engineers / higher education / students / graduates

INTRODUCCIÓN

En primer lugar, resulta importante definir el concepto de competencia, que tiene múltiples acepciones (Beltrán Pazo & Ruiz Cordovés, 2024). Perrenoud (2002) la define como la capacidad de actuar de manera eficaz en un tipo definido de situación apoyándose en conocimientos. El autor agrega que, para enfrentar una situación de un modo más eficiente, una persona utiliza varios recursos cognitivos complementarios, entre los cuales están los conocimientos, pero también las actitudes, las habilidades y los comportamientos. La competencia se visualiza como una necesidad para el éxito del desempeño profesional universitario (Machado Ramírez & Montes de Oca Recio, 2020). En América Latina, el proyecto Tuning ha ejercido una notable influencia al definir las competencias como una combinación fluida de capacidades que abarca desde el pensamiento y la comprensión (habilidades cognitivas y de conocimiento) hasta las interacciones sociales, la aplicación práctica de saberes y la ética personal (Comisión Europea, 2006). Esta visión ha impulsado un importante proceso de cambio en la región. En Argentina, el Consejo Federal de Decanos de Ingeniería - Confedi (Cirimelo & Giordano, 2006), define a las competencias como la capacidad de articular eficazmente un conjunto de esquemas (estructuras mentales) y valores, que permiten movilizar distintos saberes, que se circunscriben a un contexto específico para resolver situaciones profesionales.

En trabajos anteriores del grupo de investigación Gestión Integrada, Personas y Mejora Continua del Departamento de Ingeniería Industrial, al que pertenecen los autores se expresa que el mundo laboral está en constante cambio, y que se requiere que el profesional ingeniero aporte valor a la organización. Para esto es necesario formar graduados que desarrollen un alto nivel de conocimientos y también inteligencia emocional, flexibilidad, optimismo y perseverancia, entre otros. Además, son diferentes las exigencias y demandas para los profesionales en un contexto sujeto a cambios permanentes generados por un mercado laboral competitivo y demandante.

En consecuencia, las facultades de ingeniería en Argentina han replanteado la formación del futuro profesional y, por este motivo, desde el año 2010 el Confedi implementó acciones para establecer la formación centrada en el estudiante como marco para facilitar la educación basada en competencias. Para su concreción, se tomaron como pilares la Declaración de Bolonia de 1999 y la adhesión en Latinoamérica en el año 2000 (Declaración de Bolonia, 1999; Cirimelo & Giordano, 2006). En los siguientes años, el Confedi continuó realizando gestiones externas ante el Ministerio de Educación y gestiones internas con las facultades de ingeniería, a través de reuniones de trabajo con las redes profesionales y con formación en la temática de competencias.

Durante el año 2024, las facultades de ingeniería entraron a una etapa final de revisión, rediseño y comienzo del proceso de acreditación de los planes de estudio de sus carreras, de acuerdo con los nuevos estándares establecidos por el Ministerio de Educación

(denominados de segunda generación). El organismo que actúa como evaluador de este proceso es la Comisión Nacional de Evaluación y Acreditación Universitaria - CONEAU (Ministerio de Educación, 2021). Las carreras de ingeniería que se dictan en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata (FI-UNMDP) son las siguientes: Eléctrica, Electromecánica, Electrónica, en Alimentos, en Computación, en Informática, en Materiales, Industrial, Mecánica y Química. Sus planes de estudio son evaluados por la CONEAU para su acreditación, bajo esta nueva concepción que plantea incorporar las competencias. El equipo de gestión de la unidad académica tomó la decisión de implementar los nuevos planes en el año 2024 con el dictado del primer año para incorporar uno a uno los restantes años curriculares (Sánchez et al., 2024).

Para el presente trabajo, se toman como antecedentes estudios de diferentes investigadores para conocer sus líneas temáticas y los resultados a los que arribaron. En Iberoamérica, Marzo Navarro et al. (2006) de la Universidad de Zaragoza, analizan las competencias profesionales que las empresas demandan a los ingenieros, y comparan los perfiles que requiere el mercado laboral español con los perfiles de los egresados. Los autores se interesaron por detectar la brecha entre las competencias y habilidades alcanzadas por los egresados y las demandadas por las organizaciones, con el objeto de ajustar los planes de estudio correspondientes. Como resultado, exponen que es necesario mejorar el desarrollo de competencias tales como la capacidad de comunicación, capacidad de trabajo en equipo, habilidad para el aprendizaje continuo, conocimiento de idiomas e informática, flexibilidad, capacidad de liderazgo y de innovación.

En 2012, la Universidad de Talca de Chile, a partir de la implementación en 2005 de un programa propio de formación de competencias transversales, indaga su impacto sobre la comunidad universitaria (Schmal, 2012). Se aplicaron encuestas a una muestra de 49 graduados y se evidenció un resultado positivo en el desarrollo de competencias transversales. A partir de los resultados se genera una propuesta de cambio que implica la reducción del tamaño del plan de carrera, su redistribución y su alineación al mercado de trabajo.

En México, Neri Torres y Hernández Herrera (2019) indagaron sobre la percepción de la adquisición de competencias, a las que denominan blandas, centrándose en una muestra de 929 estudiantes avanzados de las carreras de ingeniería de un instituto tecnológico federal de la ciudad de México. Se trató de un estudio transversal y descriptivo. Como resultado, verificaron déficits en dichas competencias, específicamente en las habilidades sociales y emocionales, la resolución de problemas, la falta de comunicación, la ausencia de estrategias para el eficiente procesamiento de información y la escasa creatividad. Por tal motivo, los autores señalan que las habilidades blandas y las competencias sociales en ingeniería son una necesidad insatisfecha, lo que deriva en su sugerencia sobre mejorarlas a través de herramientas que generen conocimientos transversales y posibiliten egresados competentes.

Situado en Panamá, Nicholson Allen (2022), realizó una indagación para conocer cuáles eran las competencias blandas en estudiantes de ingeniería. Analizó cómo influyen las habilidades blandas a nivel laboral y organizacional, e indagó sobre las habilidades blandas presentes en el contexto laboral. Para ello utilizó un diseño de investigación descriptivo y transversal, que permitió detectar falencias en las competencias relacionadas con el trabajo bajo presión, el trabajo en equipo y la creatividad.

En el ámbito argentino, en el año 2018, un grupo de investigadores de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Lomas de Zamora de la provincia de Buenos Aires, indagaron sobre las competencias en graduados ingenieros. La investigación desarrollada es caracterizada como un estudio descriptivo. Para tal fin, realizaron una encuesta sobre dos de las capacidades asociadas a una competencia del tipo genérica tecnológica para ingeniería, según la clasificación del Confedi (Comoglio et al., 2018). La muestra fue de carácter aleatorio y estuvo formada por egresados de dicha facultad. El estudio pone de manifiesto que, según la muestra, se cubren las expectativas de los graduados ingenieros en cuanto a su adquisición de dos de las capacidades asociadas a dos competencias determinadas: a) identificar, formular y resolver problemas de ingeniería y b) concebir, diseñar y desarrollar proyectos de ingeniería.

En el año 2019, investigadores de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Río Cuarto realizaron una investigación sobre cuáles eran las perspectivas y valoraciones de los ingenieros graduados en su facultad, vinculadas a las competencias genéricas definidas por el Confedi. Para tal fin, estudiaron cinco investigaciones realizadas en su unidad académica en la última década. La lectura de las conclusiones denota la relevancia identificada de las competencias transversales, tanto para insertarse laboralmente como para su desempeño profesional (Paoloni et al., 2019).

Investigadores de la Universidad Católica de Santiago del Estero del departamento académico San Salvador en Jujuy, Argentina, propusieron una indagación sobre cuáles eran las *soft skills* más requeridas y valoradas en estudiantes y graduados de las carreras de ingeniería. El diseño de investigación fue de tipo cuantitativo, exploratorio y descriptivo. Para la toma de datos se utilizaron encuestas en línea. La muestra estuvo formada por los estudiantes de la carrera de Ingeniería Informática. En sus resultados, los autores señalan que es de destacar la necesidad de trabajar en la mejora de las habilidades de liderazgo e inteligencia emocional en los estudiantes. Asimismo, remarcan la importancia de impulsar estrategias que favorezcan estas habilidades en los futuros egresados (Bejarano et al., 2022).

Un equipo de investigadores de la Universidad Nacional del Chaco Austral, Zachman et al., realizaron un trabajo de indagación exploratorio y descriptivo, que buscó determinar los puntos fuertes y débiles en relación a la formación de estudiantes de Ingeniería en sistemas de una unidad académica. Para tal objetivo, realizaron entrevistas con graduados

y docentes de la carrera según su área de trabajo, su vinculación con las competencias propias del título y con las asignaturas del plan de estudios que en ese momento estaba vigente. Los autores concluyen que debe fortalecerse el modelo didáctico que dé importancia al trabajo práctico del estudiante (Zachman et al., 2024).

En lo territorial, Giordano y Cirimelo de la Universidad FASTA de Mar del Plata presentan un trabajo que focaliza en las competencias básicas de egreso esperadas para el ingeniero argentino (Giordano & Cirimelo, 2013). Los autores trabajaron con una muestra de 104 graduados en ingeniería de una facultad privada. Se suministró un cuestionario en línea autoadministrado, con treinta preguntas referidas a las competencias y opciones de respuesta múltiples con escalas de tipo Likert. Sus resultados señalaron que el grado de percepción del nivel de desarrollo de estas competencias por parte de los graduados es satisfactorio y está alineado al diagnóstico institucional realizado por los autores.

Como se hace evidente en distintas casas de altos estudios de Iberoamérica, existe preocupación sobre la formación de profesionales de ingeniería en cuanto a sus competencias genéricas, tendencia que se ratifica en los estudios nacionales.

Partiendo de la problemática de desconocer si los estudiantes avanzados y los graduados se perciben conformes con su formación respecto de los requerimientos del mercado laboral, este artículo tiene como objetivo establecer una referencia para medir el impacto en la formación por competencias de los futuros profesionales. Para ello, se analiza la percepción de tres grupos de expectativas en relación a competencias mediante dos indicadores. Las competencias relevadas son de distintos tipos: tecnológicas, sociales, políticas y actitudinales y se observa el grado en que los estudiantes o graduados las adquirieron, las esperaban adquirir al terminar la carrera y lo requerido por las organizaciones en las que se encuentran insertos recientemente o realizan sus prácticas profesionales. En esta línea de trabajo, se comparan los resultados en la carrera de Ingeniería Industrial con el total de las carreras que dicta la FI-UNMDP, para visualizar el comportamiento de la submuestra con respecto a la muestra.

METODOLOGÍA

Para la investigación, se establece una combinación de diseño exploratorio y descriptivo, dado que se intenta indagar el estado de una cuestión de la realidad que es desconocida y porque el objetivo principal es tener datos primarios que den cuenta de la problemática estudiada. Con ello, se aporta conocimiento sobre las percepciones y expectativas de la población objetivo (N=168): estudiantes o graduados en ingeniería del segundo cuatrimestre del 2024. El enfoque de la investigación es mixto, dado que —por la naturaleza de los datos y los métodos utilizados— se vale de estrategias cualitativas y cuantitativas.

Cabe aclarar que este abordaje no tiene hipótesis, como otros estudios exploratorios, ya que el objetivo es precisamente explorar un tema que se desconoce y está en proceso de evolución. Se estudian dimensiones correspondientes a competencias genéricas técnicas y sociales definidas como: competencia para identificar, formular y resolver problemas de ingeniería; competencia para desempeñarse de manera efectiva en equipos de trabajo; competencia para comunicarse con efectividad; competencia para aprender en forma continua y autónoma; y competencia para la gestión de las relaciones interpersonales. Las competencias analizadas se describen en la Tabla 1 y para su análisis se desagregan en ítems que son utilizados para la confección del cuestionario.

Se aplica un cuestionario estructurado, disponible en un formulario en línea y diseñado para ser autoadministrado. Este instrumento utiliza una escala del 1 a 10, conocida como escala Likert, para que los participantes evalúen su nivel de acuerdo (desde “no estoy de acuerdo” hasta “estoy totalmente de acuerdo”). Las diecinueve preguntas del cuestionario buscan indagar tres tipos de expectativas: el grado de la competencia adquirido en la carrera, el grado de la competencia que esperaba adquirir en la carrera; y el grado de la competencia requerido en la actividad laboral. Las preguntas se presentan como ítems en la Tabla 1.

Tabla 1
Dimensiones analizadas

| Competencia medida | Capacidad asociada | Ítems |
|--|---|---|
| Identificar, formular y resolver problemas de ingeniería | Capacidad para identificar y formular problemas | Ser capaz de identificar una situación problemática |
| | | Ser capaz de identificar y organizar los datos pertinentes a la situación problemática |
| | | Ser capaz de evaluar el contexto particular del problema e incluirlo en el análisis |
| | | Ser capaz de delimitar el problema y formularlo de manera clara y precisa |
| | Capacidad para implementar tecnológicamente una alternativa de solución | Ser capaz de realizar el diseño de la solución tecnológica para resolver un problema |
| | | Ser capaz de incorporar al diseño de la solución tecnológica las dimensiones del problema (tecnológica, temporal, económica, entre otras) que sean relevantes en su contexto específico |
| | | Ser capaz de planificar la resolución del problema (identificar el momento oportuno, estimar los tiempos, prever los recursos necesarios, entre otros) |
| | | Ser capaz de optimizar la solución y uso de los materiales y dispositivos tecnológicos disponibles para la implementación de la solución tecnológica |
| | | Ser capaz de elaborar informes, planos, especificaciones y comunicar recomendaciones |
| | | Ser capaz de controlar el proceso de ejecución del proyecto de ingeniería |

(continúa)

(continuación)

| Competencia medida | Capacidad asociada | Ítems |
|---|---|--|
| Desempeñarse de manera efectiva en equipos de trabajo | Capacidad para trabajar en equipo | <p>Ser capaz de reconocer y respetar los puntos de vista y opiniones de otros miembros del equipo y llegar a acuerdos</p> <p>Ser capaz de identificar las metas y responsabilidades individuales y colectivas en un grupo de trabajo y actuar de acuerdo a ellas</p> <p>Ser capaz de asumir responsabilidades y roles dentro del equipo de trabajo</p> |
| Comunicarse con efectividad | Capacidad para la comunicación efectiva | <p>Ser capaz de seleccionar las estrategias de comunicación en función de los objetivos y de los interlocutores y acordar significados en el contexto de intercambio</p> <p>Ser capaz de producir e interpretar textos técnicos (procedimientos, informes, entre otros) y presentaciones públicas</p> |
| Aprender en forma continua y autónoma | Capacidad para el aprendizaje | <p>Ser capaz de reconocer la necesidad de un aprendizaje continuo y actualización permanente a través de la formación</p> <p>Ser capaz de lograr autonomía en el aprendizaje</p> |
| Gestión de las relaciones interpersonales | Capacidad de adaptarse y gestionar efectivamente a las relaciones interpersonales | <p>Ser capaz de gestionar relaciones interpersonales efectivas mediante la empatía y la colaboración</p> <p>Ser capaz de adaptarse y relacionarse en diferentes situaciones y con distintas personas de manera dinámica y efectiva</p> |

Nota. Las competencias e ítems fueron elaborados en base al Cuadernillo de Competencias Genéricas en Ingeniería, por Consejo Federal de Decanos de Ingeniería de la República Argentina, 2014 (https://confedi.org.ar/download/documentos_confedi/Cuadernillo-de-Competencias-del-CONFEDI.pdf)

El instrumento utilizado fue diseñado por el equipo de investigación y brinda resultados diferentes de acuerdo con la población que se indaga. Por ello, podrán observarse en trabajos del grupo un similar listado de dimensiones con sus respectivas capacidades asociadas e ítems.

En cuanto al procedimiento, primero se adaptó el instrumento diseñado por el grupo y luego se envió el cuestionario por correo electrónico a la muestra comprendida por la totalidad de estudiantes avanzados que realizan sus prácticas profesionales supervisadas (PPS) o pasantías y por los recientemente graduados que se desempeñan en trabajos relacionados a su carrera, en noviembre de 2024. La muestra se compone de 53 personas, entre estudiantes avanzados y graduados de todas las carreras. Esta muestra se desagrega en: 16 personas de Ingeniería Industrial, 4 de Ingeniería Eléctrica, 11 de Ingeniería Electromecánica, 2 de Ingeniería de Alimentos, 10 de Ingeniería Informática, 1 de Ingeniería de Computación, 1 de Ingeniería de Materiales, 3 de Ingeniería Mecánica y 5 de Ingeniería Química. Para su descripción, se presenta mediante gráficos la caracterización de la actividad laboral y el grado de avance en la carrera correspondiente.

Para analizar los datos, se trabaja con dos indicadores definidos por otro grupo de investigación (Comoglio et al., 2018), los cuales se calculan y procesan a través de una planilla Excel. Como ya se mencionó, los indicadores miden la relación percibida entre lo adquirido, lo esperado y lo recibido por los estudiantes o graduados durante la experiencia laboral, con respecto a las dimensiones analizadas. Se utilizan elementos de estadística descriptiva como el promedio, el porcentaje y los gráficos de barras.

Los indicadores se definen como:

$$\begin{aligned} &\text{Indicador de Adecuación de la Competencia (IAC)} \\ &= \text{Valor Observado (VO)} - \text{Valor Esperado (VE)} \quad (1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{Indicador de Desarrollo de la Competencia (IDC)} \\ &= \text{Valor Observado (VO)} - \text{Valor Requerido (VR)} \quad (2) \end{aligned}$$

En la ecuación anterior:

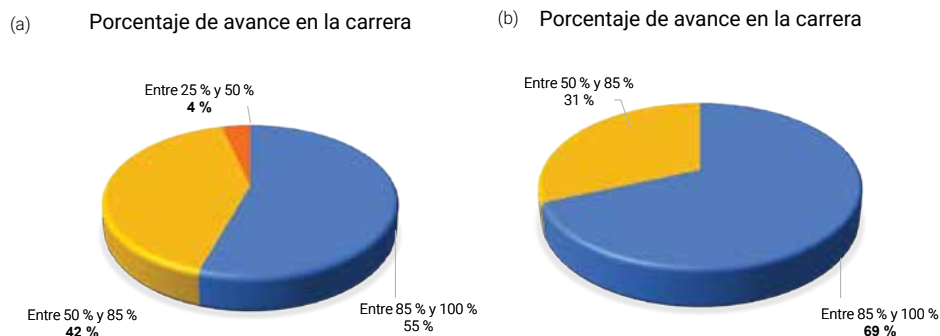
- Valor observado (VO) es el grado de la competencia que se adquirió durante el avance en la carrera.
- Valor esperado (VE) es el grado de la competencia que se esperaba adquirir durante el avance en la carrera.
- Valor requerido (VR) es el grado de la competencia requerido durante la experiencia preprofesional.

Para cada valor relevado (VO, VE y VR) del ítem, se realiza el promedio de las respuestas de los estudiantes o graduados y luego se calculan los indicadores IAC e IDC mediante las fórmulas (1) y (2), respectivamente, para cada ítem de una competencia. Luego, para obtener el indicador propio de la competencia, se promedian los IAC y IDC de los ítems asociados.

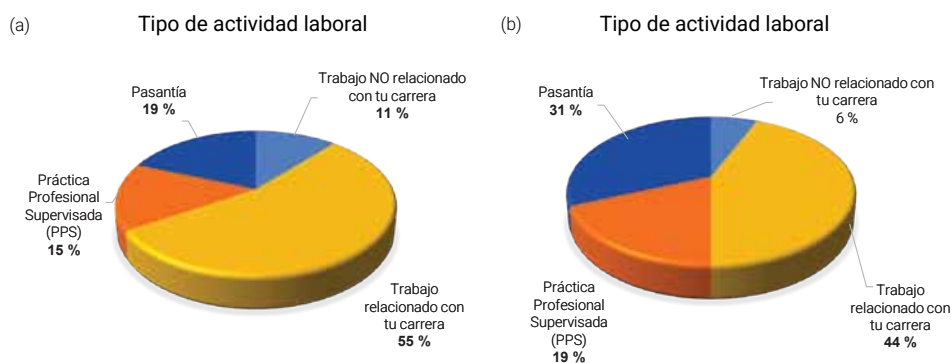
Los indicadores resultantes en cada ítem para el total de las carreras y para Ingeniería Industrial en particular, se ilustran mediante gráficos.

RESULTADOS

La muestra está compuesta por 53 estudiantes o graduados, de los cuales 16 pertenecen a la carrera de Ingeniería Industrial. En la Figura 1 se presenta el grado de avance en la carrera, de aquellos pertenecientes a toda la muestra (a) y a la carrera de Ingeniería Industrial en particular (b).

Figura 1*Porcentaje de avance en la carrera*

En la Figura 2 se presenta el tipo de actividad laboral, de aquellos pertenecientes a toda la muestra (a) y a la carrera de Ingeniería Industrial (b).

Figura 2*Tipo de actividad laboral*

Respecto a la actividad laboral (Figura 2), se observan menores porcentajes en cuanto a la realización de PPS y pasantías para la totalidad de la muestra en relación con los estudiantes o graduados de Ingeniería Industrial. En cambio, la muestra global supera en trabajos relacionados a la carrera al grupo de Ingeniería Industrial. Este dato resulta de interés, dado que el desarrollo de las competencias se ve impactado positivamente cuando se está en un contexto laboral en el cual se requiere.

A partir de los datos relevados, se calculan los índices para cada ítem que se utiliza para medir una competencia (ver Tabla 2), tanto para la carrera de Ingeniería Industrial

como para todas las carreras de Ingeniería (global). En el caso de la competencia relativa a identificar, formular y resolver problemas de ingeniería, dado que tiene dos capacidades asociadas (ver Tabla 1), se calculan los promedios de cada capacidad (promedio a y promedio b). Luego se promedian ambos valores para obtener los indicadores de desarrollo de la mencionada competencia.

Para el análisis y la interpretación de los datos, se debe tener en cuenta que el indicador IAC está orientado a medir la satisfacción de los estudiantes y egresados durante su formación, valorando el grado en que las expectativas iniciales se vieron atendidas a través de las actividades propuestas en los diferentes componentes curriculares (Comoglio et al., 2018, p. 3). Por ello, un IAC positivo (>0) implica que la muestra percibe haber superado sus expectativas con respecto a la adquisición de la competencia estudiada. Si el IAC es negativo (<0), en cambio, denota que los estudiantes o graduados consideran que no se han cumplido sus expectativas con respecto a su formación. En el caso que el IAC fuera nulo ($=0$) significa que han adquirido exactamente lo que esperaban en relación con la competencia.

De la misma manera, el indicador IDC mide de manera indirecta la satisfacción del empleador, utilizando como referencia una variable contextual que permite identificar la necesidad de profundizar en los resultados del proceso de aprendizaje (Comoglio et al., 2018, p. 3). Entonces, un IDC positivo (>0) implica que la muestra tiene una percepción de haber superado sus expectativas con respecto al desarrollo de la competencia estudiada. Por su parte, si el IDC es negativo (<0), denota que los estudiantes o graduados consideran que no se han cumplido sus expectativas con respecto al desarrollo de la competencia. En el caso que el IDC fuera nulo ($=0$) significa que han desarrollado exactamente lo que esperaban en relación con la competencia.

Tabla 2
Índices obtenidos

| Capacidad asociada | Ingeniería Industrial | | Global | |
|---|-----------------------|--------|--------|--------|
| | IAC | IDC | IAC | IDC |
| Capacidad para identificar y formular problemas | -1,000 | 0,600 | -0,340 | 0,064 |
| | -0,600 | 0,333 | -0,128 | 0,106 |
| | -0,667 | 0,200 | -0,298 | -0,383 |
| | -0,867 | -0,133 | -0,511 | -0,362 |
| Promedio a | -0,784 | 0,250 | -0,319 | -0,144 |
| Capacidad para implementar tecnológicamente una alternativa de solución | -1,133 | -0,333 | -1,596 | -0,745 |
| | -1,000 | -0,533 | -0,511 | -0,447 |
| | -0,933 | -0,400 | -0,979 | -1,085 |
| | -0,400 | -0,133 | -0,660 | -0,638 |
| | -0,133 | -0,017 | -0,319 | -0,085 |
| | -1,267 | -0,067 | -1,362 | -0,894 |

(continúa)

(continuación)

| Capacidad asociada | Ingeniería Industrial | | Global | |
|---|-----------------------|--------|--------|--------|
| | IAC | IDC | IAC | IDC |
| Promedio b | -0,811 | -0,247 | -0,904 | -0,649 |
| Promedio de a y b | -0,798 | 0,002 | -0,612 | -0,397 |
| Capacidad para trabajar en equipo | 0,200 | 0,400 | 0,170 | -0,191 |
| | -0,333 | 0,267 | 0,234 | -0,191 |
| | -0,400 | 0,267 | 0,064 | -0,064 |
| Promedio | -0,178 | 0,311 | 0,156 | -0,149 |
| Capacidad para la comunicación efectiva | -0,133 | 0,067 | -0,021 | -0,404 |
| | -0,733 | 0,467 | -0,128 | 0,234 |
| Promedio | -0,433 | 0,267 | -0,074 | -0,085 |
| Capacidad para el aprendizaje | -0,067 | 0,733 | 0,383 | 0,511 |
| | -0,067 | 0,600 | 0,213 | 0,298 |
| Promedio | -0,067 | 0,667 | 0,298 | 0,404 |
| Capacidad de adaptarse y gestionar efectivamente a las relaciones interpersonales | 0,800 | 0,667 | 0,553 | 0,170 |
| | 0,200 | -0,333 | -0,043 | -0,915 |
| Promedio | 0,500 | 0,167 | 0,255 | -0,372 |

Nota. IAC: Indicador de adecuación de la competencia e IDC: Indicador de desarrollo de la competencia.

Promedio a corresponde a la primera capacidad utilizada para medir la competencia Identificar, formular y resolver problemas de ingeniería y Promedio b a la segunda capacidad, de acuerdo con la Tabla 1.

En cuanto a la competencia Identificar, formular y resolver problemas de ingeniería, como se ha indicado, se toman en cuenta dos dimensiones, la capacidad para identificar y formular problemas y la capacidad para implementar tecnológicamente una alternativa de solución.

Para la primera dimensión, en los datos que conciernen a Ingeniería Industrial, se han obtenido un IAC negativo y un IDC positivo, lo cual podría representar que — si bien su expectativa de formación no ha sido cumplida— han podido desempeñarse satisfactoriamente según lo requerido. En el caso de los datos correspondientes a todas las ingenierías, tanto el IAC como el IDC son negativos, lo que implica que no están satisfechos con las expectativas que tenían ni con lo requerido por sus experiencias laborales.

En la segunda dimensión, en ambos casos se registran tanto un IAC como un IDC negativos, lo que indicaría que su expectativa de conocimiento y la de su contexto laboral no fue cumplida. Si se relaciona con la otra dimensión se entiende que, en cuestiones de identificar y formular problemáticas, se sienten más seguros y sólidos que cuando tienen que resolver cuestiones que ponen en evidencia su falta de experiencia.

Como consecuencia, al analizar globalmente la competencia relacionada con identificar, formular y resolver problemas de ingeniería, se puede destacar que el IDC correspondiente a los datos de Ingeniería Industrial resulta un promedio escasamente positivo (0,002), mientras que el resto de los índices son negativos para ambos grupos. Ello sería consecuencia de una elevada expectativa con respecto a su formación y una idea de que en lo laboral le será requerida una alta *performance*.

El resto de las competencias se miden por medio de una sola dimensión. Respecto a la competencia Desempeñarse de manera efectiva en equipos de trabajo, que se mide a través de la dimensión Capacidad para trabajar en equipo, se da una situación contrapuesta, ya que en el caso de Ingeniería Industrial el IAC es negativo y el IDC positivo, pero para todas las ingenierías es a la inversa. Entonces, para la muestra de Ingeniería Industrial, aunque sus expectativas no fueron satisfechas, lo requerido por las organizaciones fue cubierto. Contrariamente a esto, para la muestra global la propia percepción está cumplida, pero los requerimientos externos no. En el caso de los datos correspondientes a todas las ingenierías, tanto el IAC como el IDC son negativos, lo que implica que no están satisfechos con el cumplimiento de sus expectativas ni con lo requerido por sus experiencias laborales.

En el caso de la competencia Comunicarse con efectividad, medida a partir de la dimensión Capacidad para la comunicación efectiva, en los datos que conciernen a Ingeniería Industrial, se ha obtenido un IAC negativo y un IDC positivo, lo cual podría representar que, si bien su expectativa de formación no ha sido cumplida, han podido desempeñarse satisfactoriamente según lo requerido. En el caso de los datos correspondientes a todas las ingenierías, tanto el IAC como el IDC son escasamente negativos, lo que implica que no están satisfechos con el cumplimiento de sus expectativas ni con lo requerido por sus experiencias laborales.

Al observar la competencia Aprender en forma continua y autónoma, evaluada por medio de la dimensión Capacidad para el aprendizaje, se registra un IAC escasamente negativo (-0,067) en el primer grupo y levemente positivo (0,298) en la muestra global, y el IDC es medianamente positivo en ambos casos. En el caso del grupo de Ingeniería Industrial se percibe haber adquirido menor capacidad de aprendizaje que la esperada, en contraste con el total de las ingenierías. Sin embargo, en ambos casos consideran que han estado a la altura de lo requerido en sus experiencias laborales. Es evidente que en su perfil de estudiante la competencia está afianzada.

Finalmente, para la competencia Gestión de las relaciones interpersonales, cuantificada por la dimensión Capacidad de adaptarse y gestionar efectivamente las relaciones interpersonales, encontramos un IAC y un IDC positivos en el caso de Ingeniería Industrial. Su autopercepción con respecto a la gestión de sus relaciones es adecuada, lo cual puede representar una buena base para ser desarrollada en mayor medida cuando progresen en su desempeño profesional. En el caso de todas las ingenierías, el IAC es

positivo pero el IDC negativo, lo que implica una autoexigencia satisfecha pero que no es suficiente para el ámbito laboral.

DISCUSIÓN

Se quiere puntualizar que algunas de las competencias analizadas en este trabajo son denominadas competencias blandas, porque implican poner en juego aspectos personales y relacionales, no profesionales.

Para introducir la discusión, se considera pertinente retomar los hallazgos de un estudio realizado por Nicholson Allen (2022), en el cual se presentan las mediciones sobre el nivel de importancia de las habilidades blandas aplicables en el entorno laboral en la ciudad de Panamá desde la perspectiva de los alumnos egresados de ingeniería, como un medio para adquirir mayor conocimiento sobre el tema. La investigadora panameña realizó un estudio de tipo descriptivo y correlacional, con un enfoque mixto —cuantitativo, cualitativo y de corte transversal—, aplicando encuestas a 130 estudiantes. Se analizaron dimensiones vinculadas a las habilidades blandas, como trabajo en equipo, resolución de problemas, liderazgo, negociación y empatía. Asimismo, se consideraron dimensiones relacionadas con la experiencia, entre ellas: actitudes y aptitudes de coordinadores o colaboradores, organización en la logística y la ejecución, uso de la tecnología y nivel de satisfacción general. Los hallazgos evidencian la necesidad de fortalecer competencias como la iniciativa para solucionar problemas, la comunicación efectiva, la gestión de conflictos, el manejo eficiente de la información, la creatividad para proponer ideas innovadoras, el acceso a herramientas que permitan la actualización en el área profesional, así como el desarrollo de la capacidad de relacionarse, afrontar nuevos desafíos y adquirir recursos que potencien la persuasión y la influencia en los demás. En conclusión, la autora señala que las habilidades blandas en la formación en ingeniería son indispensables y requieren ser abordadas con mayor profundidad. Para ello, propone implementar programas que fortalezcan estas competencias, de modo que los egresados no solo dominen los aspectos técnicos, sino también las capacidades interpersonales necesarias para un desempeño profesional integral.

Al relacionarlas con los datos obtenidos a través de este trabajo, se puede ver que estas conclusiones son coincidentes con la submuestra de Ingeniería Industrial en cuanto a la competencia para identificar, formular y resolver problemas de ingeniería —conformada a su vez por la capacidad para identificar y formular problemas y la capacidad para implementar tecnológicamente una alternativa de solución. En la muestra de Ingeniería Industrial, se han obtenido resultados que evidencian que aun cuando su expectativa de formación no ha sido cumplida, han podido desempeñarse satisfactoriamente según lo requerido en el mundo del trabajo. En cambio, para la muestra correspondiente a todas las ingenierías, las personas no están satisfechas ni con sus expectativas ni con lo requerido por sus experiencias laborales.

Otro aporte relevante es el artículo de Neri Torres y Hernández Herrera (2019). El propósito de dicha investigación fue analizar cómo perciben los estudiantes de ingeniería de un instituto tecnológico federal en la Ciudad de México las competencias blandas adquiridas a lo largo de su formación académica, con el fin de identificar aquellas que no se desarrollan plenamente. Para ello, los autores realizaron un estudio descriptivo y transversal con una muestra de 929 estudiantes. El instrumento aplicado incluyó 17 preguntas sobre aspectos personales, educativos y ambientales, 17 ítems en escala Likert sobre distintas competencias genéricas y una pregunta abierta acerca de las acciones emprendidas por los estudiantes cuando la universidad no les proporciona las herramientas necesarias. Los resultados pusieron de manifiesto carencias en habilidades sociales y emocionales, en particular en la resolución de problemas, la comunicación, la gestión de la información y la creatividad. Entre los hallazgos más significativos destacan los relacionados con el trabajo en equipo: el 59 % de los encuestados señaló que le resulta fácil colaborar en grupo, el 30 % indicó que solo a veces y el 11 % manifestó no tener esa habilidad. Asimismo, el 46 % afirmó cuestionar tanto sus propias ideas como las de los demás, mientras que un 39 % reconoció hacerlo solo en algunas ocasiones. En cuanto a la autopercepción sobre competencias, el 51 % consideró que es capaz de autocriticarse para mejorar, el 33 % afirmó que lo hace ocasionalmente y el 16 % que no posee esa capacidad. Por otro lado, el 60 % manifestó que busca retroalimentación para corregir errores, frente a un 26 % que lo hace algunas veces y un 14 % que no lo considera parte de sus recursos. En conclusión, los autores destacan que las competencias blandas en la formación de ingenieros no se abordan de manera suficiente y que resulta necesario implementar programas que doten a los egresados de herramientas que fortalezcan tanto sus conocimientos técnicos como sus habilidades transversales, imprescindibles para su desarrollo profesional.

En el caso del presente estudio, focalizado en las percepciones de los estudiantes avanzados y graduados recientes, en relación a lo requerido por sus empleadores, se evidencia que tienen percepciones menos críticas en comparación con la población mexicana. Investigadores de dicho país, Neri Torres y Hernández Herrera (2019), señalan que la percepción de estudiantes de las carreras de ingeniería con respecto a las competencias blandas adquiridas es que estas no fueron cubiertas durante su formación académica. En esta línea, en el presente estudio argentino hay diferencias en las percepciones, por lo que no se podría decir que existe un comportamiento unánime como en México. Cuando se los interpela sobre la dimensión relacionada con la capacidad para trabajar en equipo se da una situación contrapuesta (entre ambas submuestras), ya que en el caso de Ingeniería Industrial el IAC es negativo y el IDC es positivo, pero para todas las ingenierías el IAC es positivo y el IDC es negativo. Entonces, para la muestra de Ingeniería Industrial, aunque sus expectativas no fueron satisfechas, lo requerido por las organizaciones fue cubierto. Contrariamente a esto, para la muestra global, la propia percepción está cumplida, pero los requerimientos externos no. En el caso de los datos

correspondientes a todas las ingenierías, tanto el IAC como el IDC son negativos, lo que implica que no están satisfechos ni con el cumplimiento de sus expectativas ni con lo requerido por sus experiencias laborales.

También se podría señalar que el presente artículo se ubica en la misma línea que los estudios desarrollados por Nicholson Allen (2022) y Neri Torres y Hernández Herrera (2019), y se confirma lo mencionado por autores como Deveci y Nunn (2018) y González Holguín et al. (2018), para quienes los estudiantes de ingeniería reconocen tener debilidades en cuanto a competencias blandas, las cuales requieren seguir fortaleciéndose a lo largo de su formación universitaria, ya que constituyen capacidades altamente demandadas por los empleadores en el mercado laboral actual y futuro.

CONCLUSIONES

Para concluir, con respecto a la competencia relacionada a identificar, formular y resolver problemas de ingeniería, se puede pensar que los resultados son consecuencia de una elevada expectativa de los grupos en relación con su formación y una idea de que en el ámbito laboral será requerida una alta *performance* desde el inicio de su ingreso al mundo del trabajo.

En el caso de la competencia relativa a desempeñarse de manera efectiva en equipos de trabajo, ambos grupos destacan la insatisfacción de sus expectativas respecto de su formación y de lo requerido por las organizaciones, aunque estas fueron cubiertas en mayor medida para el grupo de Ingeniería Industrial que para el grupo comprendido por todas las ingenierías.

En cuanto a la competencia Comunicarse con efectividad, en el caso del grupo de Ingeniería Industrial se evidencia que, si bien su expectativa de formación no ha sido cumplida, han podido desempeñar satisfactoriamente lo requerido por las organizaciones. Para el grupo de las ingenierías resulta que ambas expectativas están insatisfechas.

Con respecto a la competencia Aprender en forma continua y autónoma, se observa que en el grupo de Ingeniería Industrial existe la percepción de haber adquirido menor capacidad de aprendizaje que la esperada, en contraste con el total de las ingenierías. No obstante, en ambos casos consideran han estado a la altura de lo requerido en las experiencias laborales. Es evidente que en su perfil de estudiante la competencia está afianzada.

En relación a la competencia Gestión de las relaciones interpersonales, encontramos que su autopercepción con respecto a la gestión de sus relaciones es adecuada. Esto puede representar una buena base para ser desarrollada en mayor medida cuando progresen en su desempeño profesional. En el caso del grupo de todas las ingenierías, se muestra una autoexigencia satisfecha, pero que no resulta suficiente para el ámbito laboral.

Finalmente, a partir de los resultados obtenidos en este estudio, se ha cumplido con el objetivo propuesto, pues se ha establecido una referencia para medir el impacto de los nuevos planes de estudio en la formación por competencias de los futuros profesionales.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

María Velia Artigas: Conceptualización, *data curation*, análisis formal, investigación, metodología, administración de proyecto, recursos, supervisión, validación, visualización, escritura del borrador original, redacción: revisión y edición. **Adolfo Eduardo Onaine:** Conceptualización, *data curation*, análisis formal, investigación, metodología, administración de proyecto, recursos, supervisión, validación, visualización, escritura borrador original, redacción: revisión y edición. **Luciana Soledad Santille:** Conceptualización, *data curation*, análisis formal, investigación, metodología, recursos, validación, visualización, escritura borrador original, redacción: revisión y edición.

REFERENCIAS

- Bejarano, G. E., Panica, C. A., & Garay, L. A. (2022). Caracterización de habilidades blandas en estudiantes de Ingeniería en Informática de la UCSE-DASS. *Difusiones*, (23), 30-47. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8000274>
- Beltrán Pazo, C., & Ruiz Cordovés, R. (2024). Consideraciones acerca de la diversidad de los conceptos de competencias profesionales individuales y colectivas. *EduSol*, 24(Suppl. 1), 186-199. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-80912024000500186&lng=en&tlng=en
- Cirimelo, S. & Giordano, R. (2006). *Mapa de abordaje de las competencias genéricas de egreso en las carreras de ingeniería*. Consejo Federal de Decanos de Ingeniería. <https://confedi.org.ar/wp-content/uploads/2021/03/Presentacion-MAPA-CG-ARG-en-CONFEDI-2021.pdf>
- Comisión Europea. (2006). *La contribución de las universidades al proceso de Bolonia*. <http://www.deusto-publicaciones.es/deusto/pdfs/tuning/tuning12.pdf>
- Comoglio, M. S., Minnaard, C. L., Morrongiello, N., & Pascal, G. (2018, 6 de mayo). Formación por competencias en carreras de ingeniería. Indicadores para evaluar su nivel de adquisición. En *VI Jornadas Nacionales y III Latinoamericanas del Ingreso y Permanencia en Carreras Científico-Tecnológicas*. Comisión de Investigaciones Científicas. <https://digital.cic.gba.gob.ar/items/1f471423-bd5f-4c9c-a5fd-f902964d7be2>

- Consejo Federal de Decanos de Ingeniería. (2014). *Competencias genéricas de egreso del ingeniero argentino*. https://confedi.org.ar/download/documentos_confedi/Cuadernillo-de-Competencias-del-CONFEDI.pdf
- Declaración de Bolonia. (1999). *El espacio europeo de la enseñanza superior. Declaración conjunta de los ministros europeos de educación reunidos en Bolonia el 19 de junio de 1999*. https://ehea.info/media.ehea.info/file/Ministerial_conferences/06/0/1999_Bologna_Declaration_Spanish_553060.pdf
- Deveci, T., & Nunn, R. (2018). COMM151: A Project-Based Course to Enhance Engineering Students Communication Skills. *The Journal of Teaching English for Specific and Academic Purposes*, 6(1), 27-42. <https://doi.org/10.22190/JTESAP1801027D>
- Giordano, R., & Cirimelo, S. (2013). Engineering Competencies and Institutional Effectiveness. *Ingeniería Solidaria*, 9(16), 119-127. <https://revistas.ucc.edu.co/index.php/in/article/view/536>
- González Holguín, V. M., Ferreira Tavera, J. A., & Barranco López, A. M. (2018). Desarrollo de habilidades blandas y el uso del Sistema de Gestión del Aprendizaje en la elaboración de proyectos prácticos en una asignatura introductoria de Ingeniería Telemática. *Cuaderno de Pedagogía Universitaria*, 15(29), 44-53. <https://doi.org/10.29197/cpu.v15i29.299>
- Machado Ramírez, E. F., & Montes de Oca Recio, N. (2020). Competencias, currículo y aprendizaje en la universidad. Examen de los conceptos previos y configuración de una nueva definición. *Transformación*, 16(3) <http://ref.scielo.org/5xb3mc>
- Marzo Navarro, M., Pedraja Iglesias, M., & Rivera Torres, P. (2006). Las competencias profesionales demandadas por las empresas: el caso de los ingenieros. *Revista de Educación*, (341), 643-661. https://www.educacionyfp.gob.es/revista-de-educacion/eu/numeros-revista-educacion/numeros-anteriores/2006/re341/re341-26.html?utm_source=chatgpt.com
- Ministerio de Educación de la República Argentina. (2021). *Resolución Ministerial 1543/2021 del 18 de mayo de 2021, que modifica los contenidos curriculares básicos, carga horaria mínima, criterios de intensidad de la formación práctica y estándares para la acreditación de las carreras de Ingeniería Industrial*. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-1543-2021-349956#:~:text=Resoluci%C3%B3n%201543/2021%20%7C%20Argentina.gob.ar>
- Neri Torres, J. C., & Hernández Herrera, C. A. (2019). Los jóvenes universitarios de ingeniería y su percepción sobre las competencias blandas. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 9(18), 768-791. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-74672019000100768

- Nicholson Allen, L. J. (2022). Análisis acerca de los jóvenes universitarios de ingeniería y su percepción sobre las competencias blandas en la ciudad de Panamá, 2021. *Revista Especializada de Ingeniería y Ciencias de la Tierra*, 1(2), 34-51. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9610375>
- Paoloni, P. V., Chiecher, A. C., & Elisondo, R. C. (2019). Graduados de ingeniería y competencias genéricas. Cinco estudios de la última década que recuperan sus valoraciones y experiencias. *Educación en Ingeniería*, 14(28), 54-64. <https://educacioneningeneria.org/index.php/edi/article/view/986>
- Perrenoud, P. (2002). *Construir competencias desde la escuela*. Dolmen.
- Sánchez, A., Zabaleta, O. G., González, S. S., & Artigas, M. V. (2024, 4-6 de septiembre). *Memoria del proceso de acreditación de los planes de estudio 2024 de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata, según estándares del Ministerio de Educación* [presentación de escrito]. 7° Congreso Argentino de Ingeniería y 13° Congreso Argentino de Enseñanza de Ingeniería (CADI-CAEDI 2024).
- Schmal, R. S. (2012). Reflexiones en torno a un programa para la formación de competencias transversales en ingeniería. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 23(44), 239-262. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14523080009>
- Zachman, P., Fernández, C., Saucedo, A., & Fogar, R. (2024, 3-6 de septiembre). *Percepciones de los graduados respecto de la formación de competencias en Ingeniería en Sistemas de Información* [presentación de escrito] 7° Congreso Argentino de Ingeniería y 13° Congreso Argentino de Enseñanza de Ingeniería (CADI-CAEDI 2024).

RETRACTACIÓN

[ARTÍCULO RETRACTADO] IDENTIFICACIÓN DE CONDICIONES ERGONÓMICAS DEL SERVICIO DE ATENCIÓN EN LAS CASETAS DE PEAJE DE UNA EMPRESA DE SERVICIO DE INGENIERÍA

YAHAIRA CELYM MAGNO RAMOS

Facultad de Ingeniería, Universidad de Lima, Perú

<https://orcid.org/0009-0004-7701-933X>

IORELLA DEL CARMEN SOTO LINARES

Facultad de Ingeniería, Universidad de Lima, Perú

<http://orcid.org/0009-0007-7995-5393>

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2025.n049.8484>

Publicado: 19 de diciembre del 2025

Se ha decidido retractar el artículo "Identificación de condiciones ergonómicas del servicio de atención en las casetas de peaje de una empresa de servicio" de Yahaira Celym Magno Ramos y Fiorella del Carmen Soto Linares publicado en el número 46 de la revista *Ingeniería Industrial* (pp. 63-82) de la Universidad de Lima a raíz del pedido expreso de la empresa cuyo caso se estudia en el artículo. La empresa indica que, en una de las fotos utilizadas en el artículo, el logo de la empresa es visible, por lo que se la puede identificar, lo que rompe el anonimato esperable en el estudio.

