

INGENIERÍA

INDUSTRIAL





INGENIERÍA INDUSTRIAL

Ingeniería Industrial
Revista de la Facultad de Ingeniería
de la Universidad de Lima
Carrera de Ingeniería Industrial
Número 48, junio del 2025
doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2025.n48>

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, Fluminense Federal University, 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 Maria Almandoz Nuñez	Universidad de Lima, Perú
Bertha Haydeé Díaz Garay	Universidad de Lima, Perú
Byron Gonzalo Lapo Calderón	Universidad Técnica de Machala, Ecuador
David Luviano-Cruz	Universidad Autónoma de Ciudad de Juárez, México
Edilberto Miguel Avalos Ortecho	Universidad de Lima, Perú
Gustavo Alberto Díaz Díaz	Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra, República Dominicana
Jorge Luis García-Alcaraz	Universidad Autónoma de Ciudad de Juárez, México
Juan Antonio Lira Cacho	Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú
Juan Manuel Quintero Ramírez	Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, México
Luis Asunción Pérez-Domínguez	Universidad Autónoma de Ciudad de Juárez, México
Manuel Vite Torres	Instituto Politécnico Nacional, México

Mirna Estarron Espinoza	Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño, México
Neyfe Sablón-Cossío	Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
Nicolas Francisco Salazar Medina	Universidad de Lima, Perú
Roberto Romero López	Universidad Autónoma de Ciudad de Juárez, México
Teresa María Garcés Cabrera	Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra, República Dominicana
Yadira Aracely Fuentes Rubio	Universidad Autónoma de Tamaulipas, México

ÍNDICE

PRESENTACIÓN / FOREWORD	11
GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN / PRODUCTION MANAGEMENT	13
Impacto de la investigación operativa en la mejora de la eficiencia logística de las empresas en Benguela	15
<i>Nanikafuako Augusto Lusende André, Roberto Cruz Acosta</i>	
Planificación agregada para el transporte de personal y materiales en el sector hidrocarburos	39
<i>Carlos Sebastian Pachón Cubides, Luis Tarazona-Torres</i>	
Lean manufacturing y su aplicación en la industria de plástico	63
<i>Dayanara Daily Monserrate Salvatierra, Yanelis Ramos Alfonso, Ricardo Larry Castro Coello</i>	
Impacto de los generadores eléctricos en la audición de los trabajadores: estudio de caso en locales comerciales del centro de Ambato, Ecuador	89
<i>José Fernando Mendoza Rodríguez, Christopher Sebastián Poaquiza Aucatoma</i>	
CALIDAD Y MEDIOAMBIENTE / QUALITY AND ENVIRONMENT	111
Optimizing After-Sales Services in the Automotive Maintenance Sector: A Lean Manufacturing and MRP Case Study in Peru	113
<i>Pablo Harboe-Chaman, Kent Philipps-Berrosapi, Juan Carlos Quiroz-Flores</i>	
Modelo de gestión para la aplicación de herramientas de <i>lean manufacturing</i> para disminuir las devoluciones de pedidos errados en una empresa farmacéutica	139
<i>Melina Nadel Carrillo Quezada</i>	
Implementación de indicadores de la manufactura esbelta: eficiencia global de los equipos y las seis grandes pérdidas del mantenimiento en la empresa Pack-ISI	163
<i>Erick Uriel Morales Cruz, Melina Pérez Castelán, Lidia Ramírez Quintanilla, Sergio Blas Ramírez Reyna</i>	

Evaluación y mejora del manejo y control de inventario en una empresa de comercialización de pinturas para reducir el desperdicio y pérdida de productos	191
<i>Yuridia Belén Cota Pardini, Marcos Octavio Osuna Armenta, José Antonio Sandoval Acosta, Daniel Medrano Villalobos</i>	
Efecto del sistema BASC y su percepción en la mejora operativa de una empresa de servicios logísticos	215
<i>Mara del Rosario López Rodríguez, Marcos Octavio Osuna Armenta, Xóchitl Patricia Flores Gutiérrez, Yohenia López García</i>	
CIENCIA Y TECNOLOGÍA / SCIENCE AND TECHNOLOGY	239
Diseño e implementación de un dispositivo electrónico para asistencia de lectura de textos impresos mediante visión computacional para personas con discapacidad visual	241
<i>Cristhian Kevin Rafael Rosales, Jose Erasmo Salazar Minchan, Jorge Enrique Ortiz Porras</i>	
Estudio de la adsorción de arsénico en agua mediante el uso del nanocompósito basado en nanopartículas de magnetita y goma de tara	263
<i>Silvia Ponce Álvarez, Javier Quino Favero, Juan Rodríguez Rodríguez, Medalit Cevallos Barturen, Abel Gutarra Espinoza, Carolina Belver Coldeira, Jorge Bedia Matamoros</i>	
DATOS DE LOS AUTORES	283

PRESENTACIÓN

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2025.n48.7863>

Es un honor presentar la edición 48 de la revista *Ingeniería Industrial*, un espacio que reúne contribuciones relevantes y actuales en nuestro campo. Este número destaca la diversidad y el compromiso de autores provenientes de múltiples países, en la que se incluyen Angola, Colombia, Ecuador, México y Perú, quienes comparten sus conocimientos y experiencias a través de once artículos que abordan diversos aspectos de la ingeniería industrial.

En los artículos se exploran temáticas como la optimización de procesos logísticos mediante la investigación operativa, la implementación de dispositivos electrónicos para la asistencia de personas con discapacidad visual y la aplicación de metodologías de *lean manufacturing* en diferentes sectores. Estas investigaciones nos recuerdan la importancia de un enfoque integral que promueva la eficiencia, la sostenibilidad y la innovación en las organizaciones de hoy. En particular, la revisión exhaustiva de la implementación de *lean manufacturing* en la industria del plástico y la planificación agregada en el transporte de personal en el sector hidrocarburos son ejemplos palpables de cómo la ingeniería industrial puede transformar realidades y contribuir a la mejora continua en diversas áreas.

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento al comité editorial y al comité científico por su arduo trabajo en la selección y revisión de los artículos. De igual manera, extendemos nuestro agradecimiento a todos los autores y revisores participantes, cuya dedicación y compromiso han permitido que esta edición sea una plataforma valiosa para el intercambio de conocimientos y experiencias.

Dr. Marcos Fernando Ruiz-Ruiz

Director

FOREWORD

It is a pleasure to introduce Issue 48 of *Ingeniería Industrial*, a journal that brings together timely and relevant contributions in our field. This edition showcases the diversity and commitment of authors from Angola, Colombia, Ecuador, Mexico, and Peru, who share their knowledge and insights through eleven articles that address key topics in industrial engineering.

The articles explore a wide range of subjects, including the optimization of logistics processes through operations research, the use of electronic devices to support individuals with visual impairments, and the implementation of lean manufacturing methodologies across various sectors. Together, these studies highlight the value of an integrated approach that fosters efficiency, sustainability, and innovation in today's organizations. Notably, the in-depth review of lean manufacturing in the plastics industry and the case study on aggregate planning for personnel transportation in the oil and gas sector illustrate how industrial engineering can drive meaningful change and continuous improvement.

We extend our heartfelt thanks to the editorial and scientific committees for their dedication and rigorous review process. We are equally grateful to all the authors and peer reviewers, whose contributions and commitment have made this issue a valuable platform for the exchange of ideas and experiences in the field.

Dr. Marcos Fernando Ruiz-Ruiz

Director

**GESTIÓN
DE LA PRODUCCIÓN**

Production Management

IMPACTO DE LA INVESTIGACIÓN OPERATIVA EN LA MEJORA DE LA EFICIENCIA LOGÍSTICA DE LAS EMPRESAS EN BENGUELA

NANIKAFUAKO AUGUSTO LUSENDE ANDRÉ*

<https://orcid.org/0000-0002-6469-6727>

Departamento de Ingeniería Informática, Instituto Superior Politécnico Benguela,
Angola

ROBERTO CRUZ ACOSTA

<https://orcid.org/0000-0002-7282-8857>

Departamento de Ingeniería Informática, Instituto Superior Politécnico Benguela,
Angola

Recibido: 6 de enero del 2025 / Aceptado: 24 febrero del 2025

Publicado: 10 de junio del 2025

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2025.n48.7411>

RESUMEN. En esta investigación se ha evaluado el impacto de la investigación operativa en la optimización de procesos logísticos en empresas de Benguela (Angola). Utilizando un enfoque cuantitativo, se seleccionaron empresas representativas del sector logístico y se aplicaron encuestas y análisis de registros para caracterizar sus procesos y detectar áreas de mejora. Se desarrollaron modelos matemáticos de programación lineal, simulación y teoría de colas para optimizar aspectos como la planificación de rutas, gestión de inventarios y asignación de recursos, y calibrados con datos reales. Los resultados mostraron que la implementación de estas soluciones condujo a mejoras significativas en la eficiencia logística, incluyendo reducciones en costos de transporte y almacenamiento, disminución de tiempos de entrega y aumento en la disponibilidad de productos. Además, se han identificado oportunidades para minimizar el impacto ambiental mediante la optimización de rutas y consolidación de

Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

* Autor corresponsal.

Correos electrónicos en orden de aparición: nanikafuako.andre@ispbenguela.com; roberto.acosta@ispbenguela.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).

cargas, lo que evidencia que la investigación operativa es una herramienta clave para la sostenibilidad en este sector.

PALABRAS CLAVE: investigación operativa / optimización / modelos matemáticos / programación lineal / logística

IMPACT OF OPERATIONS RESEARCH ON IMPROVING THE LOGISTICS EFFICIENCY OF COMPANIES IN BENGUELA

ABSTRACT. This research evaluated the impact of Operations Research in the optimization of logistics processes in companies in Benguela (Angola). Using a quantitative approach, representative companies from the logistics sector were selected and surveys and record analysis were applied to characterize their processes and detect areas for improvement. Mathematical models of linear programming, simulation and queuing theory were developed to optimize aspects such as route planning, inventory management and resource allocation, calibrated with real data. The results showed that the implementation of these solutions led to significant improvements in logistics efficiency, including reductions in transportation and storage costs, decreased delivery times, and increased product availability. In addition, opportunities were identified to minimize environmental impact through route optimization and cargo consolidation, thus evidencing Operational Research as a key tool for sustainability in this sector.

KEYWORDS: operations research / optimization / mathematical models / linear programming / logistics

INTRODUCCIÓN

La investigación operativa (en adelante, IO) ha emergido como una disciplina crucial para mejorar la eficiencia en diversos sectores industriales, particularmente en el ámbito logístico. En un contexto global en el que la competitividad y la sostenibilidad son cada vez más prioritarias, las empresas enfrentan el desafío de optimizar sus procesos logísticos para mantenerse relevantes en un mercado dinámico. Esta tendencia es evidente en diversas partes del mundo, donde la implementación de modelos de IO ha demostrado ser una herramienta eficaz para la toma de decisiones informadas, reducción de costos operativos y mejora del servicio al cliente.

En Angola, específicamente en la provincia de Benguela, las empresas navegan por un entorno caracterizado por un conjunto de desafíos únicos que incluyen limitaciones en infraestructura, fluctuaciones en la demanda del mercado y la necesidad de adaptarse a condiciones económicas variables. Estas particularidades requieren enfoques innovadores para gestionar las cadenas de suministro y mejorar la eficiencia logística. La IO, a través de sus métodos de optimización matemática y modelos de simulación, ofrece soluciones personalizadas que pueden responder de manera efectiva a los problemas locales considerando las particularidades del contexto en el que operan las empresas angoleñas.

A nivel nacional, los esfuerzos por modernizar y fortalecer la infraestructura logística son fundamentales para impulsar la economía. La creciente atención a la sostenibilidad ambiental también se alinea con las estrategias de desarrollo sostenible planteadas en políticas públicas, lo cual enfatiza la importancia de integrar prácticas logísticas responsables desde una perspectiva económica y ecológica. La IO se posiciona como un motor esencial para estas iniciativas, pues proporciona herramientas que facilitan el diseño de procesos más estratégicos y responsables.

El objetivo en la presente investigación es evaluar el potencial de la IO para afrontar los desafíos logísticos de las empresas en Benguela. Nuestra hipótesis es la siguiente: la integración de modelos de IO no solo incrementa la eficiencia operativa y reduce costos, sino que también potencia la competitividad empresarial y fomenta la sostenibilidad. A partir de ello, buscamos aportar una base científica sólida que respalde la implementación de estas técnicas en los procesos logísticos locales. De este modo, el estudio no solo busca ofrecer un diagnóstico de la situación actual, sino también proponer un conjunto de recomendaciones y estrategias fundamentadas en el uso de la IO que pueden ser adoptadas por las empresas de Benguela para optimizar su desempeño logístico en un mundo en constante cambio.

Los hallazgos de Yan et al. (2024) destacan el potencial transformador de la IO en la gestión empresarial, especialmente en el ámbito de la logística. Al implementar

modelos matemáticos avanzados y calibrarlos con datos empíricos, se lograron mejoras significativas en la eficiencia logística que se tradujeron en reducciones notables de costos y tiempos de entrega. Estos resultados no solo validaron la aplicabilidad de las técnicas de IO en contextos reales, sino que también sugieren que su adopción podría ser fundamental para las empresas de Benguela, lo que les permite optimizar recursos y mejorar su competitividad en un entorno cada vez más complejo.

Zheng et al. (2023) realizaron un análisis exhaustivo de la IO y subrayaron su importancia en la resolución de problemas complejos en ingeniería. Este trabajo profundizó en los fundamentos matemáticos de la IO, para lo cual proporcionaron herramientas clave para abordar desafíos como la asignación óptima de recursos y la toma de decisiones en entornos inciertos. Un aspecto destacado fue la exploración del análisis de decisiones bajo riesgo e incertidumbre, en la que los autores presentan modelos y algoritmos que permiten desarrollar soluciones robustas y adaptables a condiciones cambiantes. Este enfoque resulta especialmente pertinente para las empresas de Benguela, ya que ofrece estrategias efectivas para enfrentar y superar sus desafíos logísticos en un contexto dinámico.

Khakbaz et al. (2024) analizaron de manera profunda la IO y subrayaron su papel crucial en la resolución de problemas complejos dentro del ámbito de la ingeniería. Además, se ahondó en los fundamentos matemáticos de la IO y se ofrecieron herramientas indispensables para enfrentar desafíos como la asignación óptima de recursos y la toma de decisiones en entornos inciertos. Un aspecto relevante fue la exploración del análisis de decisiones bajo riesgo e incertidumbre, en la que los autores desarrollan modelos y algoritmos capaces de generar soluciones robustas y adaptables a condiciones cambiantes. Este enfoque resulta esencial para las empresas que buscan optimizar sus procesos logísticos y mejorar su competitividad en un mercado cada vez más dinámico.

Por su parte, en el estudio de caso de Assiddiqi et al. (2022), se contribuyó a la gestión de la cadena de suministro, al examinar exhaustivamente los desafíos logísticos enfrentados por una empresa peruana. La investigación enfatizó la necesidad de un diagnóstico preciso y la implementación de soluciones personalizadas para mejorar la eficiencia operativa de la organización. Los autores mostraron que la integración de herramientas de IO con principios de *lean supply chain management* (*lean SCM*) puede producir resultados significativos, los que se manifiestan en reducciones de costos y en una mejora notable en la calidad del servicio. Este enfoque integrado es fundamental para que las empresas optimicen sus operaciones logísticas y se adapten a las exigencias del mercado actual.

Luego de describir y analizar estos estudios relacionados a la IO, emergen tendencias y problemáticas que coinciden significativamente con el enfoque de nuestra

investigación. De estos subrayamos la importancia de la IO como herramienta clave para abordar los desafíos logísticos en el contexto de Benguela.

Las problemáticas que enfrentan las empresas en dicha región incluyen la optimización de recursos, la toma de decisiones en entornos inciertos, la integración de diversas metodologías y la adaptabilidad de los procesos operativos (Castro & Salas, 2022). La gestión eficiente de recursos es esencial para mejorar la productividad y reducir costos en las operaciones logísticas (Pérez-Wilson et al., 2019). La implementación de modelos matemáticos y técnicas de optimización permite realizar un análisis exhaustivo de la distribución y utilización de estos recursos, lo que maximiza el rendimiento empresarial.

En cuanto a la toma de decisiones en entornos inciertos, las fluctuaciones del mercado y los cambios en la demanda plantean desafíos que requieren un enfoque estructurado (Corella & Olea, 2023). Los modelos de IO, especialmente los que se centran en el análisis de decisiones bajo riesgo, proporcionan marcos que permiten a las empresas fundamentar sus decisiones en datos y escenarios simulados, lo que aumenta su capacidad de respuesta ante situaciones adversas (Villamil, 2024).

Por lo tanto, es fundamental evaluar el potencial de la IO para enfrentar estos desafíos y mejorar la eficiencia logística de las empresas locales (Coronel et al. 2021). Al aplicar modelos matemáticos y técnicas de optimización, podemos desarrollar soluciones personalizadas que no solo ayuden a las empresas a adaptarse a las condiciones cambiantes del mercado, sino también a prosperar en un entorno competitivo (Montesinos-González, 2022).

Angola, un país en desarrollo con vastos recursos naturales, enfrenta una serie de desafíos logísticos que limitan su crecimiento económico (Herrera Vidal & Molina Guerrero, 2024). En particular, la ciudad de Benguela, situada en la costa atlántica, destaca por su potencial industrial, especialmente en la producción de vidrio (Yan et al., 2024); sin embargo, las empresas en Benguela operan en un entorno marcado por la ineficiencia logística, la falta de infraestructura adecuada y un mercado laboral que carece de capacitación especializada en técnicas de optimización (Zheng et al., 2023).

Un estudio del ICEX España Exportación e Inversiones (Vásquez Romero, 2022) destaca la logística en Angola. Particularmente, en Benguela, esta se encuentra inmersa en un contexto desafiante marcado por infraestructuras deficientes y una distribución predominantemente informal. Por ello, el presente estudio se centra en evaluar el potencial de la IO como herramienta para optimizar los procesos logísticos en esta región.

La IO, con su enfoque en la toma de decisiones fundamentadas en datos y modelos matemáticos, proporciona un marco conceptual robusto para enfrentar los desafíos logísticos de Benguela. La fragilidad de su infraestructura vial, que se caracteriza por

una red de carreteras deterioradas y la concentración del tráfico marítimo en unos pocos puertos, presenta un obstáculo significativo para la eficiencia en las operaciones logísticas (Ruíz et al., 2024). No obstante, la IO puede desempeñar un papel crucial en la mitigación de estos efectos a través de la optimización de rutas, la gestión eficiente de inventarios y la planificación de la producción (Saithong & Luong, 2022).

En Benguela, una provincia de Angola, con un sector empresarial en crecimiento, las empresas enfrentan desafíos logísticos particulares que afectan su operatividad y competitividad. Entre estos retos, se destacan la infraestructura vial deficiente, la congestión en los puertos y la escasez de recursos adecuados (San-José et al., 2023). Estos factores complican la distribución eficiente de productos y la gestión de inventarios, lo que limita la capacidad de respuesta al mercado (Snowdon et al., 2021). La necesidad de adoptar tecnologías y metodologías modernas, como la IO, se vuelve crucial para optimizar procesos logísticos y mejorar la eficiencia en este contexto desafiante (Srivastava et al., 2023).

Asimismo, en un entorno de alta volatilidad, la gestión de inventarios resulta crítica, pero muchas organizaciones dependen de métodos tradicionales, lo que genera una falta de visibilidad en la cadena de suministro (Pham, 2022). Esta situación provoca ineficiencias que elevan los costos operativos y limitan la capacidad de respuesta frente a la creciente demanda del mercado (Rehman, 2023). Además, la escasez de recursos para implementar tecnologías avanzadas y la falta de inversión en infraestructura logística perpetúan un ciclo de ineficiencia que impacta tanto en la producción como en la distribución (Khakbaz et al., 2024).

En Benguela, esta situación logística limita la capacidad de las empresas para mover productos de manera efectiva, lo que genera altos costos y tiempos de entrega prolongados. Asimismo, la ausencia de un sistema de gestión de inventarios adecuado provoca acumulación de productos no vendidos y escasez de artículos solicitados, lo que desajusta la oferta y la demanda. De igual manera, el almacenamiento representa un importante desafío. Muchas empresas carecen de sistemas efectivos para supervisar sus inventarios, lo que resulta en espacios sobreutilizados o infrautilizados que incrementan los costos (Kilic & Tarim, 2024). Esta situación perjudica a la capacidad de respuesta rápida a las necesidades del mercado.

Para abordar estos desafíos, es crucial que las empresas en Benguela adopten soluciones logísticas modernas, como la automatización y digitalización de procesos, que les permitan optimizar la gestión de la cadena de suministro y satisfacer de manera más eficiente las expectativas del mercado actual. Según el informe del Banco Mundial (2023), la mejora de la infraestructura y la implementación de tecnologías emergentes son clave para fomentar la competitividad en el contexto africano y brindar a las empresas la capacidad de adaptarse a un entorno en constante cambio.

Teniendo en cuenta la situación problemática se plantea la siguiente pregunta: ¿cómo puede la IO contribuir a mejorar significativamente la eficiencia de los procesos logísticos en las empresas de Benguela? Considerando las particularidades del contexto local y los desafíos asociados a la infraestructura y la demanda, contribuye a aumentar la competitividad empresarial y promover la sostenibilidad ambiental. Entonces, como ya se ha señalado al principio de esta introducción, nuestra hipótesis principal es que la aplicación de modelos de IO en los procesos logísticos de las empresas de Benguela permitirá mejorar significativamente su eficiencia, reducir costos, aumentar la competitividad y contribuir a la sostenibilidad ambiental.

En ese sentido, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el potencial de la IO para abordar estos desafíos y mejorar la eficiencia logística de las empresas en Benguela a través de la aplicación de modelos matemáticos y técnicas de optimización, con el fin de buscar desarrollar soluciones personalizadas que permitan a las empresas tomar decisiones más fundamentadas, minimizar los desperdicios, optimizar los recursos disponibles y responder de manera más eficiente a las exigencias del mercado contemporáneo. En este sentido, se pretende contribuir al fortalecimiento de la competitividad regional, lo que promueve una gestión logística más moderna, sostenible y alineada con las mejores prácticas internacionales reconocidas en el ámbito de la logística y la gestión empresarial.

METODOLOGÍA

En esta investigación se ha adoptado un enfoque metodológico mixto, en el que se han combinado elementos cuantitativos y cualitativos para analizar integralmente el contexto logístico en Benguela. El diseño de la investigación fue de tipo exploratorio-descriptivo, con el que se ha buscado identificar variables clave y describir las dinámicas operativas del sector. El alcance fue correlacional, por lo que se ha examinado las relaciones entre diferentes variables logísticas y su impacto en la eficiencia y sostenibilidad.

La etapa inicial consistió en una revisión sistemática de la literatura sobre IO aplicada a la logística, en el que se consultaron bases de datos académicas y especializadas para identificar modelos, técnicas y mejores prácticas relevantes. Posteriormente, se realizó un estudio de casos múltiples y se seleccionaron empresas del sector logístico en Benguela según criterios de relevancia, diversidad operativa y tamaño. En cada caso, se recolectaron datos cuantitativos (costos operativos, tiempos de entrega, niveles de inventario, tasas de rotación) mediante registros internos y encuestas estructuradas. Complementariamente, se obtuvieron datos cualitativos a través de entrevistas semiestructuradas con gerentes y empleados clave, y observaciones directas de los procesos logísticos.

El análisis de datos cuantitativos implicó la construcción de modelos matemáticos utilizando técnicas de programación lineal y simulación. Para ello, se emplearon *softwares* especializados, como Microsoft Excel, AnyLogic, Arena y CPLEX, lo que permitió modelar y optimizar escenarios logísticos, evaluar el impacto de diferentes variables y proponer soluciones para maximizar la eficiencia y minimizar costos. Las variables consideradas incluyeron costos de transporte, tiempos de procesamiento, capacidad de almacenamiento y niveles de servicio al cliente.

La validación de los modelos desarrollados fue un paso crítico en la metodología. Se compararon los resultados obtenidos a partir de los modelos con los datos reales de las empresas y la situación actual de los procesos logísticos. Esta comparación permitió verificar la precisión de los modelos y ajustar los parámetros necesarios para reflejar de manera más fiel la realidad del entorno logístico en Benguela. La validación aseguró que las soluciones propuestas sean viables y aplicables en el contexto local.

Como ya se indicó, la metodología se basó en un enfoque mixto. En la fase cuantitativa, se recolectaron datos a través de encuestas a empresas de diferentes tamaños y sectores, así como de registros internos de las compañías participantes. Estos datos fueron analizados utilizando *softwares* estadísticos como R y SPSS para identificar patrones y tendencias. En paralelo, se realizaron entrevistas semiestructuradas a gerentes de logística y expertos en la materia para obtener una visión más profunda de los desafíos y oportunidades del sector. Los datos cualitativos fueron codificados y analizados mediante técnicas de análisis de contenido. Para modelar y optimizar los procesos logísticos, se emplearon modelos de programación lineal y simulación. Los resultados de estos modelos fueron validados a través de estudios de caso y retroalimentación de los participantes.

La población total de la investigación se compuso por 142 individuos, distribuidos de la siguiente manera: 45 gerentes, 27 propietarios de empresas y 70 funcionarios. Esta diversidad en la muestra permitió obtener una perspectiva amplia sobre la aplicación de modelos de IO en diferentes niveles y roles dentro de las organizaciones. La inclusión de estos tres grupos facilitó un análisis más completo de las prácticas logísticas y su impacto en la eficiencia y competitividad empresarial.

RESULTADOS

En esta sección, se presentan los resultados obtenidos a partir de las encuestas y entrevistas realizadas a gerentes, propietarios de empresas y funcionarios en Benguela, cuyo objetivo es evaluar el potencial de la IO para abordar los desafíos logísticos que enfrentan las organizaciones en la región. A través de la recopilación y análisis de datos, se buscó identificar cómo la implementación de modelos de IO puede contribuir

a mejorar la eficiencia logística, optimizar recursos y, en última instancia, potenciar la competitividad de las empresas (Ma et al., 2024). Los hallazgos aquí presentados proporcionan una base sólida para comprender el impacto de estas prácticas en el contexto empresarial de Benguela.

Se demostró la hipótesis calculando el coeficiente de Pearson, de lo cual resultó una correlación positiva entre la variable independiente y las tres dependientes (dado que se encuentra entre 0 y 1), con un valor encontrado de 0,715. De acuerdo con el coeficiente de determinación, la variable independiente de aplicación de modelos de IO explica en un 52,5 % las variables dependientes de eficiencia logística, costos logísticos y competitividad empresarial. El resto se debe a otros factores. El análisis multivariante de la varianza (*multivariate analysis of variance*, Manova), al realizar las pruebas globales de significación, arrojó que la traza de Pillai alcanzó el valor de 0,381. Dada la complejidad de la distribución de la traza de Pillai, el valor de esta se aproximó a una distribución F que, en este caso concreto, fue de 1,97, el cual es de un grado de significación menor de 0,0001. Ello condujo al rechazo de la hipótesis nula, es decir, se registraron diferencias entre los tratamientos. Por lo anterior, se comprobó que existe correlación entre las variables que describen la aplicación de modelos de IO en los procesos logísticos de las empresas.

Para abordar de manera integral la situación logística en Benguela, fue fundamental combinar el método simplex de programación lineal con otras herramientas y tecnologías. A continuación, se presenta un análisis detallado de los problemas identificados, las causas subyacentes y cómo la implementación de soluciones podría mejorar la operatividad de las empresas en la región.

Al aplicar estas soluciones, se prevé un impacto significativo en la operatividad de las empresas en Benguela:

1. *Reducción de costos.* La optimización de rutas y la gestión de inventarios permitirá disminuir costos operativos y de almacenamiento.
2. *Mejora en la satisfacción del cliente.* Con una mejor disponibilidad de productos y tiempos de entrega más cortos, se espera un aumento de satisfacción del cliente.
3. *Incremento de la eficiencia operativa.* La implementación de tecnologías modernas y la capacitación del personal mejorarán la eficiencia en la gestión logística.

La combinación del método simplex con tecnologías modernas y una gestión integral de la infraestructura de transporte, inventarios y almacenamiento puede transformar la logística en Benguela. Es esencial que las empresas y el Gobierno colaboren para abordar estos problemas de manera efectiva y garantizar un entorno logístico más competitivo y sostenible. La inversión en tecnología, capacitación y mejora de la infraestructura será clave para impulsar el crecimiento económico de la región.

Entonces, para abordar los problemas logísticos en Benguela mediante el método simplex de programación lineal, primero debemos definir el problema de manera clara y establecer variables, restricciones y una función objetivo. A continuación, se presenta un enfoque sistemático que incluye todos los pasos necesarios.

Definición del problema

Objetivo

Optimizar la gestión de inventarios y almacenamiento para minimizar costos y maximizar la eficiencia en la distribución de productos.

Variables

- x_1 : cantidad de producto A por almacenar
- x_2 : cantidad de producto B por almacenar
- x_3 : cantidad de producto C por almacenar

Función objetivo

Minimizar el costo total de almacenamiento:

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3$$

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3,$$

donde c_1 , c_2 , c_3 , c_1 , c_2 y c_3 son los costos por unidad de almacenamiento de cada producto.

Restricciones

Las restricciones se basan en la capacidad de almacenamiento y la demanda de los productos:

1. Capacidad de almacenamiento: $x_1 + x_2 + x_3 \leq C$, donde C es la capacidad total de almacenamiento disponible.
2. Demanda de productos: $x_1 \geq D_1$, $x_2 \geq D_2$, $x_3 \geq D_3$, donde D_1 , D_2 , D_3 son las demandas mínimas de cada producto.
3. No negatividad: $x_1, x_2, x_3 \geq 0$.

Ejemplo numérico

Supongamos los siguientes datos:

- Costos de almacenamiento: $c_1 = 5$, $c_2 = 4$, $c_3 = 6$

- Capacidad total de almacenamiento: $C = 100C = 100$
- Demandas mínimas: $D1 = 20D1 = 20, D2 = 30D2 = 30, D3 = 10D3 = 10$

Formulación del problema

La función objetivo y las restricciones se pueden expresar de la siguiente manera:

- Minimizar $Z = 5x1 + 4x2 + 6x3$
- Minimizar $Z = 5x1 + 4x2 + 6x3$

Sujeta a lo siguiente:

- $x1 + x2 + x3 \leq 100x1 + x2 + x3 \leq 100$
- $x1 \geq 20x1 \geq 20$
- $x2 \geq 30x2 \geq 30$
- $x3 \geq 10x3 \geq 10$
- $x1, x2, x3 \geq 0x1, x2, x3 \geq 0$

Método simplex

1. Tabla inicial: convertimos las restricciones en igualdades introduciendo variables de holgura $s1, s2, s3, s4s1, s2, s3, s4$ (véase la Tabla 1):
 - $x1 + x2 + x3 + s1 = 100$
 - $x1 + x2 + x3 + s1 = 100$
 - $x1 + s2 = 20x1 + s2 = 20$
 - $x2 + s3 = 30x2 + s3 = 30$
 - $x3 + s4 = 10x3 + s4 = 10$

Tabla 1
Tabla inicial

Base	x1x1	x2x2	x3x3	s1s1	s2s2	s3s3	s4s4	RHS
s1s1	1	1	1	1	0	0	0	100
s2s2	1	0	0	0	1	0	0	20
s3s3	0	1	0	0	0	1	0	30
s4s4	0	0	1	0	0	0	1	10
Z	-5	-4	-6	0	0	0	0	0

2. Iteraciones del método simplex:

- Identificamos la columna pivote (la más negativa en la fila Z).
- Determinamos la fila pivote usando la razón mínima (RHS / coeficiente de la columna pivote).
- Realizamos operaciones para convertir la tabla a una forma canónica.

3. Continuar el proceso hasta que no haya más elementos negativos en la fila Z.

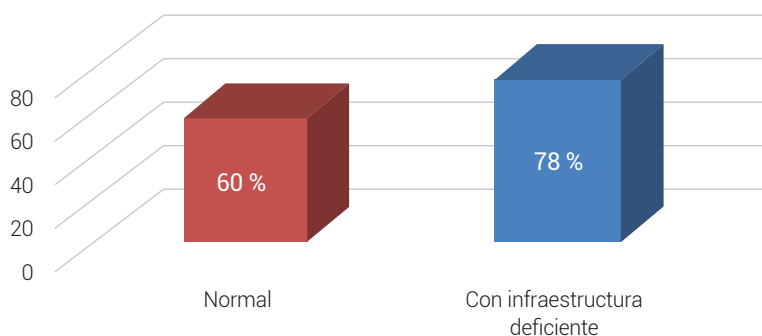
Análisis

Al finalizar el método simplex, se obtuvieron valores óptimos para x_1 , x_2 , x_3 , x_1 , x_2 y x_3 que minimizan el costo total de almacenamiento, lo que evita las restricciones de capacidad y demanda. De igual manera, el uso del método simplex ha permitido a las empresas de Benguela optimizar su gestión de inventarios y almacenamiento, lo que redujo costos y ha mejorado la eficiencia operativa (Mallidis et al., 2022). Al combinar este enfoque con tecnologías avanzadas de gestión de inventarios, se podría transformar significativamente la logística de la región y crear un entorno más competitivo y sostenible.

Es fundamental que las empresas no solo se enfoquen en la optimización matemática, sino que también inviertan en infraestructura y tecnología para lograr resultados sostenibles a largo plazo. Un análisis exhaustivo de las operaciones logísticas en Benguela, utilizando técnicas cuantitativas y cualitativas, ha identificado ineficiencias en la gestión del almacenamiento y los tiempos de entrega (Vásquez Romero, 2022). Estos hallazgos, obtenidos a través de análisis de datos y entrevistas con personal clave, tienen implicaciones directas en la competitividad de las empresas en el mercado local (véase la Figura 1).

Figura 1

Tiempo de entrega promedio (minutos)



Hemos determinado que el tiempo de entrega se incrementa en un 30 % cuando la infraestructura es deficiente. Esto significa que, en promedio, los envíos tardan treinta minutos más en llegar a su destino cuando las condiciones de las carreteras, puentes o vías de transporte no son las adecuadas. ¿Qué significa este aumento del 30 %?

- *Retrasos en las entregas.* Los productos o mercancías tardan más tiempo en llegar a su destino final, lo que puede generar insatisfacción en los clientes y afectar la reputación de la empresa.
- *Aumento de costos.* Los retrasos implican un mayor consumo de combustible, desgaste de los vehículos y horas extras para los conductores, lo que se traduce en un incremento en los costos operativos.
- *Disminución de la eficiencia.* La infraestructura deficiente reduce la capacidad de la empresa para realizar entregas a tiempo y de manera eficiente, lo que puede afectar su competitividad en el mercado.

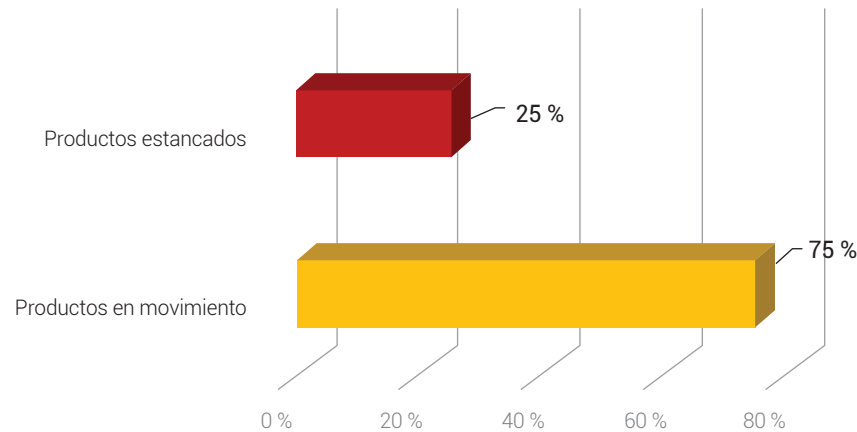
El aumento del 30 % en el tiempo de entrega debido a la infraestructura deficiente es un indicador claro de que esta problemática tiene un impacto significativo en las operaciones de las empresas. Por lo tanto, es fundamental tomar medidas para mitigar este efecto y mejorar la eficiencia de las entregas.

Asimismo, dicho incremento se atribuye a una infraestructura deficiente. Los gerentes han enfatizado que esta situación impacta directamente en la eficiencia de las entregas, lo que resulta en un aumento promedio de treinta minutos en los envíos (Hernández et al., 2022). Este dato fue respaldado por funcionarios, quienes señalaron que las condiciones inadecuadas de las carreteras y las vías de transporte provocan retrasos que afectan tanto la satisfacción del cliente como la reputación de la empresa.

Por otro lado, el análisis del inventario pone de manifiesto una situación preocupante. Un 25 % de los productos se encuentra estancado, es decir, no han registrado movimiento en los últimos tres meses. Esta cifra revela un desequilibrio significativo entre la oferta y la demanda, lo que sugiere una serie de problemas subyacentes (véase la Figura 2). Del mismo modo, el análisis del inventario ha revelado que un 25 % de los productos se encuentra estancado, es decir, sin movimiento en los últimos tres meses. Los propietarios han expresado su preocupación por este desequilibrio entre oferta y demanda, por lo que se sugiere que esto podría ser resultado de una sobreproducción, en la que la cantidad de productos fabricados supera la demanda real del mercado (Baek, 2024). Esta percepción fue corroborada por los funcionarios, quienes señalaron que la falta de alineación entre la producción y las tendencias del consumidor agravan aún más la situación.

Figura 2

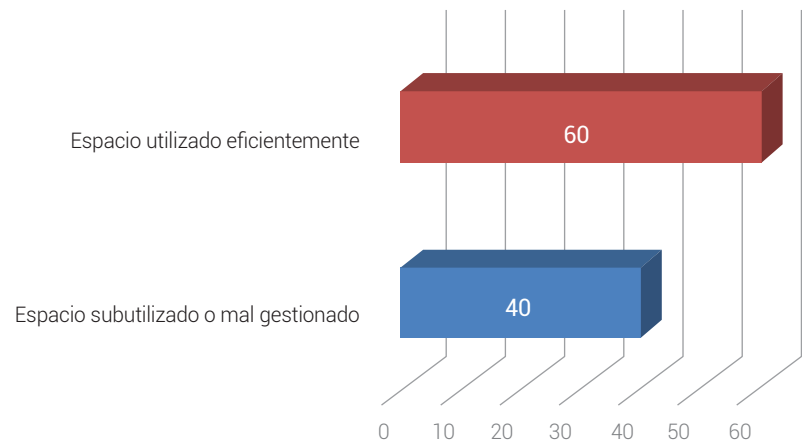
Sistema de gestión de inventarios efectivo



El hallazgo de que el 40 % del espacio de almacenamiento se encuentra subutilizado o mal gestionado revela una ineficiencia significativa en las operaciones logísticas de la empresa (véase la Figura 3). Esta situación no solo implica un desperdicio de recursos valiosos, como el espacio físico y los costos asociados a su mantenimiento, sino que también puede generar una serie de problemas operativos.

Figura 3

Porcentaje de gestión del almacenamiento



La mayoría de los encuestados coincidieron en que la situación actual se debe a una planificación inadecuada del *layout* del almacén y a una gestión deficiente del inventario (Blancas-Rivera et al., 2023). Asimismo, los gerentes señalaron que la falta de optimización en los procesos logísticos contribuye a este problema, lo que resulta en un desperdicio de recursos valiosos y costos adicionales relacionados con el mantenimiento del espacio.

La subutilización del espacio puede atribuirse a diversos factores, como una planificación inadecuada del *layout*, una gestión ineficaz del inventario o la falta de optimización en los procesos operativos (Caicedo et al., 2022). Estas deficiencias pueden complicar la localización de productos, aumentar el riesgo de daños o pérdidas y generar retrasos en las operaciones logísticas, lo que afecta la eficiencia global de la empresa. Además, un espacio de almacenamiento desordenado o subutilizado puede transmitir una imagen de falta de organización y profesionalismo ante clientes y proveedores, lo que podría perjudicar la reputación de la empresa en el mercado.

Infraestructura de transporte deficiente

Estado actual

La infraestructura de transporte en Benguela es insuficiente para satisfacer las necesidades logísticas de las empresas. Las carreteras presentan un estado deteriorado, lo que causa retrasos en la entrega de mercancías y aumenta los costos operativos.

Causas

- *Falta de inversión.* La escasez de recursos destinados a la mejora y mantenimiento de las infraestructuras viales.
- *Condiciones climáticas.* Las lluvias intensas y otros fenómenos naturales agravan el deterioro de las carreteras.
- *Crecimiento poblacional.* El aumento de la demanda de transporte supera la capacidad actual de la infraestructura.

Influencia en resultados

La ineficiencia en el transporte afecta directamente la cadena de suministro y provoca lo siguiente:

- *Aumento de costos.* Los costos de transporte se incrementan debido a la necesidad de rutas alternativas y tiempos de espera.
- *Pérdida de clientes.* La insatisfacción por retrasos puede llevar a la pérdida de clientes y oportunidades de negocio.

Solución propuesta

- Implementación de tecnología de monitoreo, es decir utilizar sistemas de gestión de flotas y GPS para optimizar rutas de entrega.
- Colaboración público-privada para fomentar asociaciones y para invertir en la mejora de la infraestructura vial.

Falta de un sistema de gestión de inventarios efectivo

Estado actual

Las empresas carecen de sistemas adecuados para gestionar sus inventarios, lo que resulta en acumulaciones de productos no vendidos y escasez de artículos demandados.

Causas

- *Falta de capacitación.* El personal no está entrenado en técnicas modernas de gestión de inventarios.
- *Sistemas obsoletos.* Muchas empresas aún utilizan métodos manuales o *softwares* desactualizados.
- *Demanda volátil.* Cambios inesperados en la demanda de productos complican la planificación.

Influencia en resultados

La ineficacia en la gestión de inventarios se traduce en lo siguiente:

- Costos elevados de almacenamiento, debido a que los productos no vendidos ocupan espacio y generan costos adicionales.
- Pérdida de ventas por la falta de productos en *stock*, lo que puede resultar en ventas perdidas y descontento del cliente.

Solución propuesta

- Implementación de sistemas de gestión de inventarios (SGI), es decir optar por tecnologías como *enterprise resource planning* (ERP) que integren la gestión de inventarios con otras áreas de la empresa.
- Capacitación y formación del personal, es decir, invertir en el uso efectivo de estas herramientas.

Gestión del almacenamiento

Estado actual

La gestión del almacenamiento en Benguela es ineficiente, con sobrecargas y subutilización de espacios. Muchos depósitos no están optimizados para el flujo de productos.

Causas

- *Diseño inadecuado de almacenes.* La disposición física de los almacenes no facilita el movimiento eficiente de mercancías.
- *Falta de tecnología.* La ausencia de tecnologías como sistemas de gestión de almacenes (*warehouse management system*, WMS) limita la capacidad de monitoreo y control.
- *Variabilidad en la demanda.* Cambios en las preferencias del consumidor afectan la planificación del espacio.

Influencia en los resultados

Una gestión ineficaz del almacenamiento puede provocar lo siguiente:

- *Ineficiencias operativas.* Tiempo perdido en la búsqueda de productos y en la gestión de espacios.
- *Costos adicionales.* Aumento de costos operativos debido a la necesidad de más espacio de almacenamiento o alquiler de instalaciones adicionales.

Solución propuesta

- Adopción de WMS, es decir implementar tecnologías que optimicen la gestión del espacio y el flujo de productos.
- Reorganización física del almacén con el fin de rediseñar el *layout* del almacén para facilitar el acceso y movimiento de mercancías.
- En ambos casos puede indicar la fuente de la que se obtuvieron los datos.

DISCUSIÓN

La situación logística en Benguela (Angola) enfrenta múltiples desafíos interconectados que impactan el rendimiento de las empresas en la región (Chang et al., 2023). Mediante entrevistas a gerentes y a la aplicación del método simplex, se han identificado oportunidades y dificultades en el ámbito logístico (Chen et al., 2022), los cuales se agrupan en tres ejes fundamentales: infraestructura de transporte, gestión de inventarios y gestión del almacenamiento.

La infraestructura vial en Benguela se presenta como un obstáculo crítico para las empresas de transporte y logística. Los datos indican que las malas condiciones de las carreteras incrementan los tiempos de entrega en un 30 % (Assiddiqi et al., 2022). La literatura respalda que una infraestructura adecuada es esencial para el desarrollo económico (Assiddiqi et al., 2022) y que su deficiencia compromete la seguridad y confiabilidad del transporte (Khakbaz et al., 2024). Entre las causas de este problema se encuentran la inversión insuficiente, la falta de un plan estratégico para el desarrollo vial y las condiciones climáticas adversas.

La gestión ineficaz de inventarios ha llevado a un 25 % de los *stocks* a estar sin movimiento en tres meses (Srivastava et al., 2023). Muchas empresas siguen utilizando métodos manuales, lo que dificulta una respuesta ágil ante los cambios en la demanda. Esta ineficiencia puede generar pérdidas significativas y afectar la satisfacción del cliente (Ruíz et al., 2024). Las causas incluyen la falta de capacitación del personal en sistemas modernos, resistencia al cambio y una demanda volátil.

La disposición física de los almacenes en Benguela no está optimizada, con un 40 % del área subutilizada. Un diseño inadecuado provoca ineficiencias y un aumento de costos operativos (San-José et al., 2023). Las causas incluyen un diseño ineficiente, falta de herramientas tecnológicas y variabilidad en la demanda. De igual manera, la situación logística en Benguela (Angola) presenta una serie de desafíos interrelacionados que impactan de manera significativa el rendimiento operativo de las empresas en la región. A continuación, se exploran los datos y se analizan desde distintas aristas para llegar a conclusiones relevantes.

La deficiencia en la infraestructura de transporte es uno de los problemas más críticos. Las malas condiciones de las carreteras contribuyen a un aumento de los tiempos de entrega en un promedio del 30 % (Assiddiqi et al., 2022). Esto no solo afecta la eficiencia operativa, sino que también repercute en los costos asociados al transporte y en la satisfacción del cliente final. La literatura indica que una infraestructura adecuada es fundamental para el desarrollo económico (Assiddiqi et al., 2022). En este contexto, la falta de inversión y el deterioro de las carreteras crean un ciclo vicioso de ineficiencia. Por ello, la mejora de la infraestructura de transporte es esencial para reducir los costos logísticos y mejorar la competitividad de las empresas en Benguela. Las autoridades locales deben priorizar la inversión en infraestructura vial para facilitar el flujo de bienes y servicios.

La ineficacia en la gestión de inventarios se manifiesta en la acumulación de productos no vendidos, con un 25 % de los *stocks* inactivos en tres meses (Srivastava et al., 2023). Este problema está vinculado a la utilización de métodos manuales y a la falta de actualización en los sistemas de gestión. Las empresas que no adaptan sus estrategias a las fluctuaciones del mercado enfrentan pérdidas significativas y una disminución en la satisfacción del cliente debido a la falta de disponibilidad de productos.

Es crucial que las empresas implementen sistemas modernos de gestión de inventarios que permitan una respuesta ágil ante cambios en la demanda. La capacitación del personal en estas herramientas debe ser una prioridad para maximizar la eficiencia operativa.

La configuración física de los almacenes en Benguela presenta ineficiencias, con un 40 % del área subutilizada (Vásquez Romero, 2022). Un diseño de almacén inadecuado no solo genera pérdidas operativas, sino que también incrementa los costos relacionados con el manejo y la búsqueda de mercancías. Asimismo, la falta de tecnologías adecuadas limita la capacidad de las empresas para optimizar el uso del espacio.

Un análisis detallado del diseño actual de los almacenes, combinado con la implementación de tecnologías adecuadas de gestión del espacio, puede reducir costos y mejorar la eficiencia operativa. Asimismo, a partir del análisis realizado, se identificaron patrones comunes que indican que los problemas logísticos en Benguela son sistémicos y requieren un enfoque integral. La deficiencia en la infraestructura de transporte está íntimamente relacionada con la gestión ineficiente de inventarios y el almacenamiento inadecuado. La falta de inversión, capacitación y adaptación a nuevas tecnologías son factores que agravan la situación.

Para mejorar la eficiencia y sostenibilidad del sector logístico, se proponen las siguientes estrategias. En primer lugar, es crucial una inversión colaborativa público-privada en la mejora de la infraestructura vial. En segundo lugar, se debe fomentar la adopción de tecnologías modernas, como la digitalización de la gestión de inventarios y la implementación de *softwares* especializados en la gestión de almacenes. Tercero, se recomienda desarrollar programas de capacitación continua para el personal, enfocados en técnicas avanzadas de gestión logística. Cuarto, es esencial promover la colaboración entre empresas del sector para compartir mejores prácticas y soluciones innovadoras. Finalmente, se debe establecer un sistema de monitoreo y evaluación basado en indicadores clave de desempeño logístico, lo que permite evaluar el impacto de las mejoras implementadas y realizar ajustes según sea necesario para garantizar una optimización continua.

Finalmente, la situación logística en Benguela es compleja y requiere atención urgente. La interconexión de los problemas identificados sugiere que abordar la infraestructura de transporte, la gestión de inventarios y el diseño del almacenamiento de manera aislada no será suficiente. Se requiere un enfoque holístico que integre las soluciones en todas estas áreas para mejorar la eficiencia operativa, fomentar la competitividad y contribuir al desarrollo económico de la región.

CONCLUSIONES

La presente investigación ha evaluado el potencial de la IO para abordar los desafíos logísticos que enfrentan las empresas en Benguela, con lo que se ha confirmado la hipótesis principal: la aplicación de modelos de IO en los procesos logísticos permite mejorar significativamente la eficiencia, reducir costos, aumentar la competitividad y contribuir a la sostenibilidad ambiental. Los resultados obtenidos han evidenciado una correlación positiva y significativa entre la aplicación de modelos de IO y las variables dependientes de eficiencia logística, costos logísticos y competitividad empresarial. Esto implica que la implementación de herramientas y técnicas de la IO en los procesos logísticos genera un impacto positivo y medible en el desempeño de las empresas.

Asimismo, el estudio ha revelado la importancia de la infraestructura de transporte en la eficiencia logística, por lo que la calidad de las carreteras y vías de comunicación influye directamente en los costos de transporte, los tiempos de entrega y la seguridad de las operaciones. La gestión de inventarios también ha sido identificada como un factor crítico, en la que la falta de sistemas de gestión modernos limita la visibilidad del inventario y dificulta la toma de decisiones óptimas.

Las entrevistas realizadas a participantes del sector revelan la necesidad de reorganizar el *layout* del almacén, optimizar los niveles de inventario y mejorar la infraestructura de transporte. También se destaca la importancia de capacitar al personal en mejores prácticas logísticas, lo que puede fomentar una cultura de eficiencia y organización. Las respuestas sugieren la necesidad de implementar una serie de medidas para mejorar la eficiencia logística, como la reorganización del *layout* de los almacenes, la optimización de los niveles de inventario, la mejora de la infraestructura de transporte y la capacitación del personal en mejores prácticas logísticas.

La investigación ha puesto de manifiesto varios desafíos interrelacionados que afectan la eficiencia logística en Benguela. La infraestructura de transporte deficiente y la falta de un sistema moderno de gestión de inventarios contribuyen a una visibilidad limitada del inventario, lo que resulta en decisiones subóptimas. Además, la calidad de las carreteras se ha identificado como un factor crítico, pues incrementan costos y afectan la seguridad y fiabilidad del transporte.

Finalmente, la investigación ha demostrado que la aplicación de modelos de IO es fundamental para mejorar la eficiencia logística de las empresas en Benguela. Los resultados obtenidos subrayan la necesidad de un enfoque coordinado que aborde tanto la gestión de inventarios como la infraestructura de transporte. Este estudio no solo proporciona una base sólida para futuras investigaciones, sino que también ofrece un camino claro para que las empresas de Benguela optimicen sus operaciones logísticas y, en última instancia, mejoren su competitividad en el mercado.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran que no han recibido financiamiento de ninguna entidad que pudiera influir en los resultados de esta investigación. Asimismo, no existen relaciones personales, profesionales o financieras que puedan comprometer la objetividad de este estudio.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

Nanikafuako Augusto Lusende André: escritura-borrador original, redacción-revisión y edición, conceptualización, *data curation*, metodología, investigación, redacción revisión, *software*, edición, supervisión. **Roberto Cruz Acosta:** redacción-revisión y edición, supervisión, metodología, investigación, conceptualización, visualización, edición, supervisión.

REFERENCIAS

- Assiddiqi, M., Anantadjaya, S., Ahmad, I., Le, K., Iswanto, A., Trung, N., Al-Sudani, A., Huy, D., & Mutlak, D. (2022, 12 de diciembre). Integrated pricing and inventory control for perishable products, taking into account the lack of backlog and inventory management policy by the seller. *Foundations of Computing and Decision Sciences*, 47(4), 371-382. <https://doi.org/10.2478/fcds-2022-0020>
- Baek, J. (2024). On the control policy of a queuing-inventory system with variable inventory replenishment speed. *Mathematics*, 12(2), Artículo 194. <https://doi.org/10.3390/math12020194>
- Banco Mundial. (2023). *Informe anual 2023: una nueva era de desarrollo*. <https://documentos.bancomundial.org/es/publication/documents-reports/documentdetail/099405110112326811>
- Blancas-Rivera, R., Cruz-Suárez, H., Portillo-Ramírez, G., & López-Ríos, R. (2023). (s, S) Inventory policies for stochastic controlled system of Lindley-type with lost-sales. *AIMS Mathematics*, 8(8), 19546-19565. <https://doi.org/10.3934/math.2023997>
- Caicedo, Y., Lozano, J., & Leiva, M. (2022). *Análisis del transporte para el ingreso y salida de bienes a la ciudad de Leticia* [Proyecto de investigación, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/55601>
- Castro, J., & Salas, C. (2022). La gestión de las mercancías desde una perspectiva de los inventarios en prendas de vestir. *Revista Científica Ecociencia*, 9(2), 77-98. <https://doi.org/10.21855/ecociencia.92.650>
- Chang, X., Kwok, W., & Wong, G. (2023). Demand uncertainty, inventory, and cost structure. *Contemporary Accounting Research*, 41(1), 226-254. <https://doi.org/10.1111/1911-3846.12918>

- Chen, C. N., Lai, C. H., Lu, G. W., Huang, C. C., Wu, L. J., Lin, H. C., & Chen, P. S. (2022). Applying simulation optimization to minimize drug inventory costs: A study of a case outpatient pharmacy. *Healthcare*, 10(3), 556. <https://doi.org/10.3390/healthcare10030556>
- Corella, L., & Olea, J. (2023). Desarrollo de un sistema de control de inventario para una empresa comercializadora de sistemas de riego. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 24(1), 1-10. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2023.24.1.006>
- Coronel, S., Gavidia, L., & Oblitas, R. (2021). Propuesta de sistema de control basado en método ABC para determinar el stock de mercaderías en Kalito Distribuciones, Jaén 2021. *Ciencia Latina. Revista Científica Multidisciplinar*, 5(6), 10575-10591. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i6.1098
- Hernández, N., Roldán, D., Zamora, P., & Rosas, J. (2022). Neoliberalismo y subjetividades en la pandemia por COVID-19: casos México y Colombia. *Estudios Sociales Contemporáneos*, 27, 131-154. <https://doi.org/10.48162/rev.48.046>
- Herrera Vidal, G., & Molina Guerrero, C. (2024). Deterministic inventory models with non-perishable product: A comparative study. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 15, 2500-2517. <https://doi.org/10.1007/s13198-024-02267-1>
- Khakbaz, A., Alfares, H., Amirteimoori, A., & Tirkolaee, E. B. (2024). A novel cross-docking EOQ-based model to optimize a multi-item multi-supplier multi-retailer inventory management system. *Annals of Operation Research*. <https://doi.org/10.1007/s10479-023-05790-9>
- Kilic, O., & Tarim, S. (2024). A simple heuristic for computing non-stationary inventory policies based on function approximation. *European Journal of Operational Research*, 316(3), 899-905. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2024.02.016>
- Ma, B., Mao, B., Liu, S., Meng, F., & Liu, J. (2024). Managing physical inventory and return policies for omnichannel retailing. *Computers & Industrial Engineering*, 190. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.109986>
- Mallidis, I., Sariannidis, N., Vlachos, D., Yakavenka, V., Aifadopoulou, G., & Zopounidis, K. (2022). Optimal inventory control policies for avoiding food waste. *Operational Research*, 22(1), 685-701. <https://doi.org/10.1007/s12351-020-00554-w>
- Montesinos-González, S. (2022). Mejora continua de un posgrado en México aplicando el QFD. *DYNA*, 89(222), 106-114. <https://doi.org/10.15446/dyna.v89n222.101794>
- Pérez-Wilson P., Álvarez-Dardet C., Ruiz Cantero MT., Martínez-Riera JR., & Carrasco-Portiño M. (2019). Desarrollo del sentido de comunidad: una propuesta para las

- universidades promotoras de la salud. *Global Health Promotion*, 27(3), 236-239. <https://doi.org/10.1177/1757975919859572>
- Pham, T., Sahasontaravuti, S., & Buddhakulsomsiri, J. (2022). Determining (s, S) inventory policy for healthcare system: A case study of a hospital in Thailand. *International Journal of Knowledge and Systems Science*, 13(1), 1-18. <https://doi.org/10.4018/ijkss.306258>
- Rehman, A., Mian, S., Usmani, Y., Abidi, M., & Mohammed, M. (2023). Modelling and analysis of hospital inventory policies during COVID-19 pandemic. *Processes*, 11(4), 1062. <https://doi.org/10.3390/pr11041062>
- Ruiz, E., Adarme, W., & Gaitán, H. (2024). Estrategia de abastecimiento colaborativo para el sector salud derivado de un estudio clínico de COVID-19. *Ingeniería y Desarrollo*, 42(1), 47-67. <https://doi.org/10.14482/inde.42.01.345.555>
- Saithong, C., & Luong, H. (2022). A periodic review order-up-to inventory policy in the presence of stochastic supply disruption. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 40(2), 181-199. <https://doi.org/10.1504/ijise.2022.121069>
- San-José, L., Sicilia, J., González-de-la-Rosa, M., & Febles-Acosta, J. (2023). Optimal production-inventory policy for products with time-dependent demand pattern and backlogged shortages. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 10(1). <https://doi.org/10.1080/23302674.2023.2203834>
- Snowdon, A., Saunders, M., & Wright, A. (2021). Key characteristics of a fragile healthcare supply chain: Learning from a pandemic. *Healthcare Quarterly*, 24(1), 36-43. <https://doi.org/10.12927/hcq.2021.26467>
- Srivastava, M., Mehta, P., & Swami, S. (2023). Retail inventory policy under demand uncertainty and inventory-level-dependent demand. *Journal of Advances in Management Research*, 20(2), 217-233. <https://doi.org/10.1108/JAMR-08-2022-0177>
- Vásquez Romero, M. (2022). *El mercado de la distribución comercial en Angola*. ICEX España Exportación e Inversiones. https://www.icex.es/content/dam/es/icex/oficinas/071/documentos/2022/12/estudios-de-mercado/distribuci%C3%B3n-comercial/EM_El%20mercado%20de%20la%20Distribucion%20comercial%20en%20Angola_2022.pdf
- Villamil, C. (2024). *Propuesta de mejora para la planeación y control de inventarios en una empresa comercializadora* [Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica de la Mixteca]. Repositorio Institucional de la Universidad Tecnológica de la Mixteca. http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/14566.pdf

- Yan, X., Chao, X., & Lu, Y. (2024). Optimal control policies for dynamic inventory systems with service level dependent demand. *European Journal of Operational Research*, 314(3), 935-949. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2023.11.005>
- Zheng, M., Cui, N., Zhang, Y., Zhang, F., & Shi, V. (2023). Inventory policies and supply chain coordination under logistics route disruption risks. *Sustainability*, 15(13), 10093. <https://doi.org/10.3390/su151310093>

PLANIFICACIÓN AGREGADA PARA EL TRANSPORTE DE PERSONAL Y MATERIALES EN EL SECTOR HIDROCARBUROS

CARLOS SEBASTIAN PACHÓN CUBIDES*

<https://orcid.org/0009-0001-7722-5916>

Departamento de Ingeniería Industrial,
Universidad de los Andes, Colombia

LUIS TARAZONA-TORRES

<https://orcid.org/0000-0003-0567-6926>

Departamento de Ingeniería Industrial,
Universidad de los Andes, Colombia

Recibido: 7 de enero del 2025 / Aceptado: 24 de febrero del 2025

Publicado: 10 de junio del 2025

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2025.n48.7682>

RESUMEN. Este estudio tuvo como objetivo desarrollar una planificación agregada para el transporte de personal y material en una empresa del sector de hidrocarburos, utilizando como caso de estudio a una empresa ubicada en Perú. En el análisis, se evaluaron dos estrategias clave: persecución y nivelación, ambas aplicadas a distintos modos de transporte, como ala fija, ala rotatoria, fluvial y terrestre. A través de este análisis, se observó que la estrategia de persecución resultó ser la más adecuada para la empresa, ya que no solo presenta menores costos operativos en comparación con la estrategia de nivelación, sino que también permite cumplir con la demanda mensual de manera precisa, lo que facilita una planificación efectiva para el próximo año, basada en los resultados obtenidos de la planificación agregada.

PALABRAS CLAVE: planeación agregada / nivelación / persecución / transporte de recursos / transporte de personal

Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

* Autor corresponsal

Correos electrónicos en orden de aparición: cs.pachon@uniandes.edu.co; le.tarazona@uniandes.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).

AGGREGATE PLANNING FOR STAFF AND MATERIAL TRANSPORTATION IN THE OIL AND GAS SECTOR

ABSTRACT. The objective of this study was to develop an aggregated planning for the transportation of personnel and material in a hydrocarbon sector company, using a company located in Peru as a case study. In the analysis, two key strategies were evaluated: chasing and leveling, applied to different modes of transportation, such as fixed wing, rotary wing, river and land. Through this analysis, it was observed that the chasing strategy proved to be the most appropriate for the company, since it not only presents lower operating costs compared to the leveling strategy but also allows them to meet the monthly demand accurately, which facilitates effective planning for the next year, based on the results obtained from the aggregate planning.

KEYWORDS: aggregate planning / leveling / chasing / resource transportation / personal transportation

INTRODUCCIÓN

El sector de hidrocarburos es fundamental para el desarrollo económico global y su eficiencia operativa depende en gran medida de la optimización de sus sistemas logísticos y de transporte. Las organizaciones en este sector cuentan con un complejo sistema de transporte que facilita el traslado de personal y material; para ello, utilizan cuatro medios principales: terrestre y fluvial, destinados principalmente al movimiento de materiales; y aéreos, tanto de ala fija (aviones comerciales) como de ala rotatoria (helicópteros), utilizados para transportar material y personal, especialmente en áreas de acceso restringido, como plantas y yacimientos.

La gestión eficiente de estos recursos logísticos presenta desafíos significativos. Prado Cornejo (2019) ha indicado que la manera en la que se toma de decisiones para transportar eficazmente materiales y personal —considerando las diferentes opciones y necesidades específicas de cada situación— es crítica. Los viajes se definen por tonelaje en el caso del material; y, por capacidad de pasajeros, en el caso del personal. Sin embargo, la falta de pronósticos adecuados para determinar la cantidad de material o personal que se moverá a través de los diferentes medios de transporte dificulta la planificación eficiente. Entonces, es imperativo definir cuántos viajes se necesitan de cada medio para optimizar la gestión de recursos y satisfacer las demandas operativas de manera óptima.

En este contexto, la planeación agregada de la producción y la gestión eficiente de recursos han sido ampliamente estudiadas en diversos sectores industriales. Caicedo Rolón et al. (2019) destacaron que la planeación de la producción es una decisión táctica a mediano plazo que determina el nivel de trabajadores, inventarios y producción requeridos para satisfacer la demanda en un horizonte de planificación. Su estudio en una industria metalmecánica mediana desarrolló una estrategia mixta que incluyó la persecución (contratación y despido) y nivel de inventarios a partir de un modelo de programación lineal, lo que logró minimizar los costos asociados al plan y satisfacer los requerimientos de la demanda. Asimismo, Gelves Alarcón y Navarro Romero (2021) destacaron la importancia de la gestión de la producción en la formación de ingenieros industriales. Su libro ofrece un enfoque teórico y práctico sobre planeación de la producción y técnicas cuantitativas de pronóstico de demanda, lo que facilita su aplicación en el ámbito profesional.

Por otro lado, Madariaga Fernández et al. (2022) han propuesto una metodología multicriterio para la clasificación de clientes, para lo cual utilizan algoritmos *K-nearest-neighbors* (KNN) y una modificación al modelo de recencia, frecuencia y valor monetario (RFM) como sustento para la planeación agregada. Esta metodología permite un análisis individualizado del comportamiento de los clientes, lo que facilita la toma de decisiones y optimiza el proceso de venta desde una visión general.

La optimización mediante algoritmos también ha sido explorada. Ortiz-Licona et al. (2020) han presentado una solución al problema de planeación agregada de la producción mediante el algoritmo de búsqueda gravitacional (*gravitational search algorithm*, GSA). Este enfoque incluye el manejo de restricciones y demuestra la capacidad del algoritmo para encontrar soluciones óptimas en problemas con alto grado de dificultad, aplicable en contextos con gran cantidad de variables y restricciones, como en el sector de hidrocarburos.

La aplicación de estrategias de planeación agregada para incrementar la productividad ha sido destacada por Alvarez Valencia y Marroquín Chávez (2019), quienes analizaron el proceso de producción en una organización. Mediante el diseño de tres estrategias de planeación agregada y un modelo de programación lineal, basado en el pronóstico de la demanda histórica, lograron incrementar el índice combinado de productividad en un 19 % respecto al año anterior, lo que mejoró la productividad de la organización (Alvarez Valencia y Marroquín Chávez, 2019).

La reducción de costos mediante la planeación agregada también ha sido objeto de estudio. Cruz et al. (2022) analizaron estrategias de planificación agregada bajo un enfoque de simulación Montecarlo para reducir costos de producción. A través de la simulación, generaron soluciones para distintas estrategias de planeación agregada, considerando variables como fuerza laboral, niveles de inventario, horas extras y subcontratación, lo que satisface diferentes patrones de demanda y optimiza la administración de la producción (Cruz et al., 2022).

La planeación de la producción tiene un efecto positivo en la productividad, como lo demuestran estudios de Cieza Silva (2020) y Gavidia Gurbillon y Quiroz Santisteban (2023). Ambos trabajos aplicaron el pronóstico de la demanda, estrategias de planeación agregada y el plan maestro de producción, lo que ha logrado incrementos en la productividad del 8 % y 24 %, respectivamente, y se ha confirmado el impacto favorable de la planeación estratégica en los procesos productivos.

La aplicación del plan agregado de producción para mejorar la productividad y reducir costos ha sido explorada en diversos estudios. Gálvez Castañeda y Valencia Carrera (2019) aplicaron el sistema de plan agregado de producción en una organización y lograron aumentar la productividad en un 11,7 %, con lo que se eliminaron inventarios y redujeron costos de almacenamiento.

Asimismo, la optimización de costos mediante modelos matemáticos y herramientas de pronóstico es esencial en la planificación eficiente. En ese sentido, Sánchez Verdezoto et al. (2022) desarrollaron el modelo matemático Sarima para pronosticar la producción mensual en una organización, el cual permite realizar proyecciones precisas y comparar resultados con la metodología utilizada por la organización.

La comparación de metodologías también es relevante. Chaves-Aguilar et al. (2020) compararon el costo del plan agregado de fabricación de botellas PET calculado mediante metodologías americana y europea para diferentes escenarios, y se ha observado que los costos variaban dependiendo de las variables consideradas y los pronósticos utilizados. El estudio concluye que el costo de producción del plan agregado por metodologías europeas tiende a ser mayor, debido a la inclusión de variables adicionales, como la mano de obra y las órdenes atrasadas; sin embargo, los pronósticos juegan un papel determinante en la elección de la metodología.

En el sector de la construcción, Melchor y Monserrat (2023) implementaron la planeación agregada en una organización y lograron minimizar costos operativos a través de la previsión de producción en un plazo determinado. Asimismo, Moreto-Febre et al. (2022) aplicaron un modelo de transporte para optimizar los costos en el planeamiento agregado de una organización y concluyeron que el modelo tuvo un impacto positivo en la optimización de costos de producción.

De igual manera, la gestión de producción y la planificación de materiales son cruciales para mejorar la eficiencia operativa. Nieto Rivas y Oñate Peñuela (2023) diseñaron un sistema de gestión de producción utilizando pronósticos de demanda y planeación agregada en una organización, con el cual se abordó problemas como el manejo nulo de control de demanda y las deficiencias en el cálculo de requerimientos de materiales. También, Saavedra Zapata y Sevillano Ordinola (2021) propusieron un plan de requerimiento de materiales (*material requirements planning*, MRP) para disminuir los costos de inventario en una panificadora, con el cual lograron un ahorro significativo y justificaron la implementación del MRP. En esta misma línea, Gallardo Díaz y Salvatierra Ramos (2020) investigaron el impacto de un sistema MRP en los costos de inventario de manufacturas de calzado. Utilizando un diseño preexperimental y un enfoque cuantitativo, analizaron los productos más demandados mediante la metodología ABC y el diagrama de Pareto. Los resultados mostraron que la implementación del MRP redujo los costos de inventario en un 52,61 %, por lo que se pasó de S/ 2 597 221,47 a S/ 1 230 790,74. La hipótesis se comprobó mediante pruebas estadísticas en SPSS, lo que ha evidenciado que el MRP optimiza la gestión de inventarios (Gallardo Díaz y Salvatierra Ramos 2020).

Custodio Gómez y Sánchez Gómez (2020) desarrollaron un modelo de plan de requerimiento de materiales en la línea de producción de cuero curtido, con lo que se logró una reducción del 4 % en los costos totales anuales de inventario. Estos estudios han evidenciado que la aplicación de modelos de planeación y gestión de materiales tiene un impacto directo en la reducción de costos y mejora de la eficiencia operativa.

Cortijo Sánchez y Estrada Díaz (2020) han abordado el impacto de la implementación de un sistema MRP en una organización de manufactura de calzado, en el que resaltan

una reducción del 33,89 % en los costos de inventario. A su vez, Charpentier Alcívar et al. (2021) diseñaron una metodología para planificar el transporte de carga en el mediano plazo, vinculando los planes anuales y operativos para mejorar la eficiencia en la relación entre proveedores de transporte y clientes. En esta misma línea, Flórez García (2019) destacó la importancia de la planeación de la producción en las empresas manufactureras, enfatizando su papel en la gestión eficiente de los recursos necesarios para fabricar productos conforme al programa de producción. En ese sentido, la adecuada planificación permite mejorar el control sobre órdenes de emergencia, optimizar los inventarios, maximizar la utilización de la capacidad instalada y reducir tiempos muertos. Además, contribuye a mejorar los tiempos de entrega, incrementar el nivel de servicio, minimizar productos defectuosos y disminuir los costos logísticos.

A pesar de los avances en la aplicación de modelos de planeación y optimización en diversos sectores, el sector de hidrocarburos enfrenta una carencia significativa de herramientas específicas que mejoren la toma de decisiones en la logística de transporte de materiales y personal. Por ello, este artículo tiene como objetivo desarrollar un modelo de planeación que permita determinar la cantidad óptima de viajes necesarios para cada medio de transporte con el fin de optimizar la gestión de recursos y satisfacer las demandas operativas de manera eficiente.

La planeación agregada ha demostrado su capacidad para optimizar recursos y reducir costos en sectores como la manufactura, la construcción y el transporte; sin embargo, el sector de hidrocarburos presenta desafíos únicos derivados de la complejidad de sus sistemas logísticos y operativos. Estos incluyen la necesidad de coordinar el transporte de grandes volúmenes de materiales, pasajeros y equipos bajo restricciones estrictas, como las que imponen las operaciones en áreas remotas. La Tabla 1 resume los principales enfoques y modelos empleados en estudios previos, en los que se han abarcado estrategias de persecución, nivelación, pronósticos de demanda y modelos matemáticos aplicados en otros sectores, destacando su impacto en la optimización de recursos.

Tabla 1
Revisión de literatura correspondiente a planeación agregada y pronósticos

Autor	Planeación agregada		
	Persecución	Nivelación	Otro
Caicedo Rolón et al. (2019)	X		
Madariaga Fernández et al. (2022)			X
Ortiz-Licona et al. (2020)			X
Chaves-Aguilar et al. (2020)	X		X

(continúa)

(continuación)

Autor	Planeación agregada		
	Persecución	Nivelación	Otro
Alvarez Valencia et al. (2019)	X	X	
Cruz et al. (2022)	X		
Cieza Silva (2020)	X	X	X
Melchor y Monserrat (2019)	X	X	
Caiza (2022)		X	
Custodio Gómez y Sánchez Gómez (2020)	X	X	X
Cortijo Sánchez y Estrada Díaz (2020)			X
Saavedra Zapata y Sevillano Ordinola (2020)			
Charpentier Alcívar et al. (2021)	X		X

METODOLOGÍA

Enfoque metodológico

Esta investigación, de enfoque aplicado, no experimental, descriptivo y cuantitativo, analiza y propone soluciones a los desafíos operativos de transporte en una empresa del sector hidrocarburos en Perú, afectada por condiciones geográficas y climáticas complejas. La empresa utiliza transporte aéreo para personal y productos perecederos, fluvial para materiales pesados y terrestre en rutas accesibles. La combinación de medios plantea retos en costos, tiempos y capacidades operativas, de los que destaca la necesidad de estrategias que optimicen los recursos y garanticen la sostenibilidad.

Diagnóstico del proceso de transporte actual

El análisis inicial evaluó el estado actual del transporte en la empresa, abarcando el traslado de personal y carga. Se identificaron recursos disponibles (helicópteros, aviones, embarcaciones y vehículos terrestres), costos asociados (combustible, mantenimiento y tiempos) y restricciones operativas (capacidad de carga y factores climáticos). La información fue complementada con referencias clave, como los estudios de Prado Cornejo (2019) y Huanay Allca et al. (2015). Estos diagnósticos permitieron identificar cuellos de botella y áreas críticas que requerían atención para mejorar la eficiencia.

Planeación agregada para el transporte

Con los resultados del diagnóstico, se procedió a desarrollar una planeación agregada que integra las capacidades de los diferentes medios de transporte, con el objetivo de optimizar la asignación de recursos. Este proceso incluyó lo siguiente:

- Análisis de las capacidades máximas: considerar el tonelaje permitido y las limitaciones físicas de los medios de transporte.
- Distribución de recursos: determinar la proporción óptima de carga y personal asignados a cada medio.
- Evaluación de estrategias: comparar diferentes escenarios operativos para identificar la alternativa más eficiente en términos de costos y tiempos.

Se establecieron estrategias de priorización según el tipo de carga (perecedera, pesada, o general) y el destino para asegurar el uso eficiente de los recursos disponibles y minimizar el impacto de las restricciones operativas.

Formulación matemática y supuestos

En la Tabla 2, se presentan las variables iniciales y sus respectivos valores para el transporte terrestre. Estas variables incluyen la capacidad de la flota A, la capacidad de la flota B y la capacidad de la flota de terceros; la cantidad de vehículos disponibles en cada una de estas flotas (A, B y terceros); el costo por viaje para las flotas A, B y de terceros; y el máximo número de viajes permitidos para cada flota (A, B y terceros).

Tabla 2
Variables iniciales transporte terrestre

Descripción	Flota A	Flota B	Terceros
Capacidad	20	25	30
Número de vehículos	50	40	30
Costo por viaje (dólares)	1015,00	1015,00	1167,19
Máximo viajes por mes	7	7	7

En la Tabla 3, se presentan las variables iniciales y sus respectivos valores para el transporte fluvial. Estas variables incluyen la capacidad de cada embarcación, el número total de embarcaciones disponibles, el costo por viaje y el máximo número de viajes permitidos por embarcación.

Tabla 3*Variables iniciales transporte fluvial*

Descripción	Embarcación
Capacidad (toneladas)	350
Número de embarcaciones	15
Costo por viaje (dólares)	10 000
Máximo viajes por mes	4

En la Tabla 4, se presentan las variables iniciales y sus respectivos valores para el transporte aéreo con ala fija. Estas variables incluyen la capacidad de los aviones y el costo por viaje para el transporte de personal, así como el tonelaje máximo permitido y el precio por viaje para el transporte de material.

Tabla 4*Variables iniciales del transporte de ala fija*

Categoría	Parámetro	Valor
Personal	Capacidad avión	76
	Costo por viaje (dólares)	3712,60
Material	Tonelaje máximo	27,62
	Precio por viaje (dólares)	104,500

En la Tabla 5, se presentan las variables iniciales y sus respectivos valores para el transporte aéreo con ala rotatoria. Estas variables incluyen la cantidad de aeronaves disponibles para los tipos AR tipo 1 y AR tipo 2, la capacidad máxima de pasajeros y el peso estimado por persona, el tonelaje máximo permitido por aeronave, el costo por viaje y la capacidad máxima de pasajeros expresada en peso para cada tipo de aeronave.

Tabla 5*Variables iniciales transporte ala rotatoria*

Descripción	AR tipo 1	AR tipo 2
Cantidad de aeronaves	2	2
Capacidad máxima de pasajeros	10	19
Peso por persona (toneladas)	0,072	0,072
Tonelaje máximo por aeronave	1,0	3,5
Costo por viaje (dólares)	680,30	1292,57
Capacidad máxima de pasajeros en peso (toneladas)	0,720	1,368

Estrategias utilizadas

La planeación agregada aplicada en el estudio incluyó dos enfoques principales: la estrategia de persecución y la estrategia de nivelación.

Estrategia de persecución

Según Nahmias, S. (2017), la estrategia de persecución se centra en ajustar el número de trabajadores y recursos de transporte para satisfacer la demanda de cada periodo para minimizar inventarios y garantizar una respuesta ágil a las variaciones de demanda.

$$W_t = \frac{P_t}{K * n_t}$$

Donde:

Wt: número de vehículos a utilizar del periodo t

Pt: demanda pronosticada del periodo t

K: capacidad de material o personal por vehículo

nt: número de viajes

Algoritmo utilizado para calcular la estrategia de persecución

Este algoritmo de planificación de transporte, sea de carga o personal, utiliza una estrategia de persecución que se ajusta a las demandas mensuales, calculando viajes, vehículos y costos según la capacidad y restricciones. Si es necesario, recurre a una flota externa. Estos cálculos consideran restricciones como la capacidad máxima y los costos por viaje. Finalmente, organiza los resultados en un DataFrame y los exporta a un archivo Excel para facilitar su análisis y toma de decisiones.

Tabla 6

Algoritmo 1: estrategia de persecución

-
1. DEFINIR variables iniciales
 2. DEFINIR función calcular_viajes_vehículos_costos_persecución
 - a. Para cada mes, calcular viajes y vehículos requeridos
 - Determinar vehículos necesarios y ajustar a restricciones
 - Calcular tonelaje transportado por el primer tipo de vehículo
 - b. Calcular viajes, vehículos y tonelaje transportado para el segundo tipo de vehículo si queda demanda (dependiendo el medio de transporte)
 - c. Calcular viajes, vehículos y tonelaje transportado para la flota de terceros si queda demanda adicional (dependiendo el medio de transporte)
 - d. Calcular costos totales del mes (viajes × costo por viaje)
 - e. Almacenar datos: viajes, vehículos usados, tonelaje transportado y costos
 3. LLAMAR a la función con los parámetros definidos
 4. CREAR un DataFrame con
 - Meses, tonelaje requerido, viajes y vehículos usados por flota, tonelaje transportado total y costos
 5. EXPORTAR el DataFrame a un archivo Excel con los resultados calculados
-

Estrategia de nivelación

Según Nahmias (2017), la estrategia de nivelación busca mantener un número constante de trabajadores y acumular inventarios en periodos de baja demanda para satisfacer los picos. La formulación del número constante mínimo de trabajadores W^* que puede satisfacer la demanda en el horizonte T se calcula de la siguiente manera:

$$W^* = \max \left(\frac{\sum_{i=1}^t D_i}{K * \sum_{i=1}^t n_i} \right)$$

Donde:

W^* : número mínimo constante de vehículos requeridos para satisfacer la demanda

D_i : demanda proyectada para el periodo i

K : viajes promedio por vehículo en una unidad de tiempo (meses)

N_i : número de días operativos al mes (30)

Algoritmo utilizado para calcular la estrategia de nivelación

Este algoritmo implementa una estrategia de nivelación para la planificación del transporte, buscando mantener una carga uniforme a lo largo del tiempo. Primero, calcula la demanda promedio mensual basada en el tonelaje requerido. Luego, utiliza una función

que determina los viajes necesarios y el tonelaje transportado, comenzando por un tipo de vehículo y continuando con otros medios de transporte, incluidos terceros, en caso de demanda residual, todo bajo restricciones de capacidad y costos. Los costos mensuales se calculan para todas las flotas replicando estos valores uniformemente para cada mes. Finalmente, los resultados, que incluyen viajes, tonelaje transportado, vehículos utilizados y costos se organizan en un DataFrame y se exportan a un archivo Excel para facilitar el análisis y la toma de decisiones.

Tabla 7
Algoritmo 2: estrategia de nivelación

1. DEFINIR variables iniciales
2. CALCULAR demanda promedio mensual como el promedio del tonelaje requerido de acuerdo con las variables iniciales
3. DEFINIR función calcular_nivelación (demanda promedio, parámetros de vehículos)
a. Calcular viajes necesarios para un tipo de vehículo usando la capacidad y restricciones
b. Calcular tonelaje transportado por el vehículo y actualizar tonelaje restante
c. Repetir los cálculos para el segundo tipo de vehículo y flota de terceros (dependiendo el medio de transporte)
d. Calcular costos totales mensuales para todos los vehículos
e. Replicar viajes, tonelaje y costos para todos los meses
4. LLAMAR a la función calcular_nivelación con los parámetros iniciales
5. CREAR un DataFrame con resultados para meses, viajes, tonelaje transportado, vehículos usados y costos
6. EXPORTAR los resultados a un archivo Excel para análisis posterior

RESULTADOS

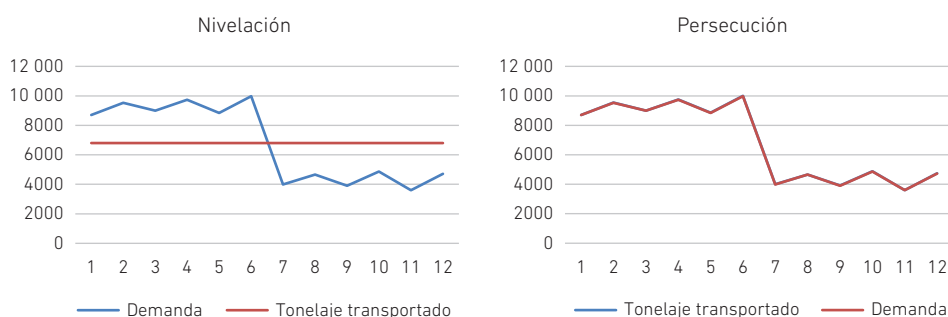
Resultados para transporte terrestre

En la Figura 1, se presentan los resultados de las estrategias de nivelación y persecución aplicadas al transporte de materiales en camiones. En la estrategia de nivelación, el número de viajes, los vehículos utilizados y el costo mensual se mantienen constantes en US\$ 345 100, empleando exclusivamente la flota A, la cual satisface completamente la demanda anual sin necesidad de recurrir a la flota B ni contratar servicios de terceros. En este caso, el tonelaje transportado por la flota A se mantiene constante a lo largo del tiempo, a pesar de las variaciones en la demanda mensual, lo que refleja claramente la aplicación de esta estrategia. Por otro lado, en la estrategia de persecución, tanto la flota A como la flota B son utilizadas para ajustarse a las fluctuaciones mensuales de la demanda, por lo que se evita el uso de flotas de terceros. Aquí, el número de vehículos, el tonelaje transportado y los costos mensuales varían conforme a las necesidades de

cada mes. La asignación precisa de recursos hace que las diferencias entre el tonelaje transportado y la demanda sean mínimas, lo que permite observar únicamente la línea de la demanda en la Figura 1. Al final del periodo, ambas estrategias logran satisfacer la demanda total del año, aunque con enfoques operativos y resultados financieros distintos.

Figura 1

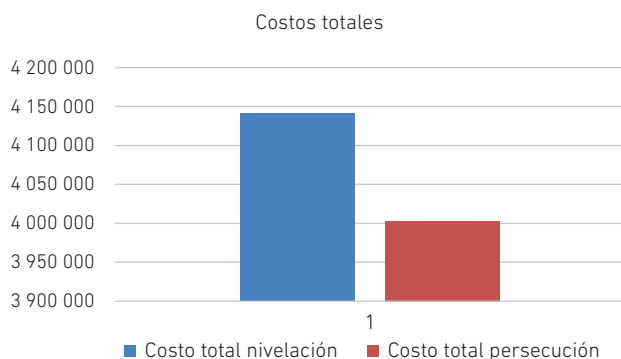
Estrategias de nivelación y persecución aplicadas para el transporte terrestre



En la Figura 2, se presenta una comparación de los costos totales entre las estrategias de nivelación y persecución para el transporte terrestre de materiales. Se observa que el costo asociado a la estrategia de persecución es menor, lo que hace que esta opción sea más favorable para que la empresa la implemente al utilizar este medio de transporte.

Figura 2

Comparación entre costos de nivelación y persecución para el transporte terrestre

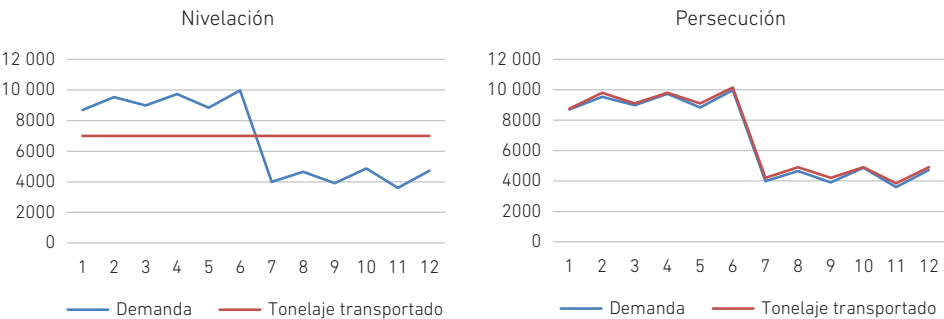


Resultados para transporte fluvial

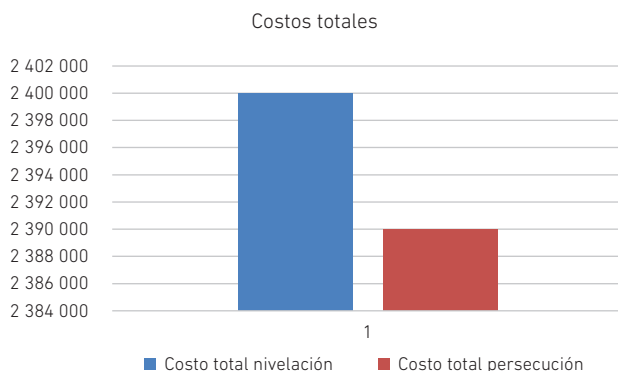
En la Figura 3, se comparan las estrategias de nivelación y persecución en el transporte de materiales por embarcaciones. La estrategia de nivelación utiliza cinco embarcaciones mensuales con un tonelaje constante, lo que asegura estabilidad operativa y satisface la demanda anual. En contraste, la estrategia de persecución ajusta viajes, tonelaje, embarcaciones y costos según la demanda mensual, lo que muestra flexibilidad en la asignación de recursos. Ambas estrategias cumplen la demanda anual, pero con enfoques diferentes en la gestión de recursos.

Figura 3

Estrategias de nivelación y persecución aplicadas para el transporte fluvial

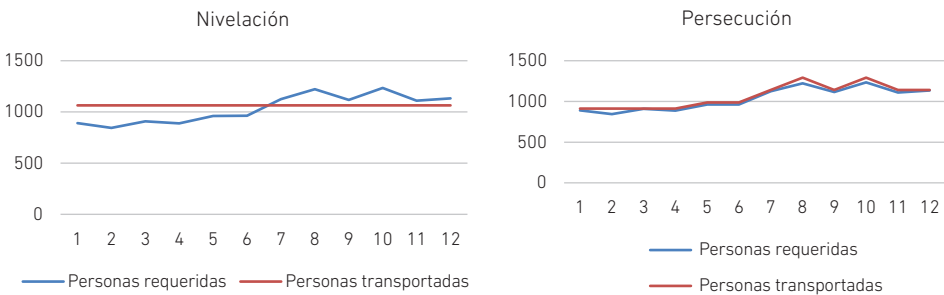


En la Figura 4, se presenta una comparación entre los costos totales de las estrategias de nivelación y persecución para el transporte fluvial de materiales. Se puede observar que el costo asociado a la estrategia de persecución es significativamente menor en comparación con la estrategia de nivelación. Este hecho hace que la estrategia de persecución sea más favorable, ya que permite a la empresa optimizar sus recursos y reducir los costos, lo que la convierte en la opción más adecuada para ser implementada al utilizar este medio de transporte.

Figura 4*Comparación entre costos de nivelación y persecución para el transporte fluvial***Resultados para transporte ala fija personal (aviones comerciales)**

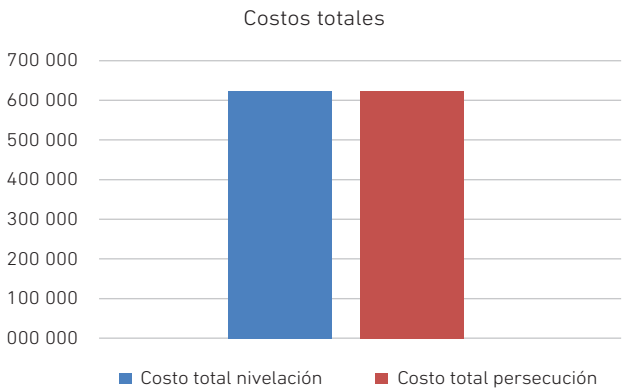
En la Figura 5, se presentan los resultados de las estrategias de nivelación y persecución aplicadas al transporte de personal en ala fija. En la estrategia de nivelación, los datos incluyen el número de viajes realizados, la cantidad de personas transportadas y el costo total de los viajes mensuales. Este enfoque se caracteriza por mantener un número constante de viajes a lo largo del tiempo, independientemente de las fluctuaciones en la demanda mensual. Esta estabilidad operativa permite a la empresa planificar sus recursos de manera eficiente, lo que garantiza que al final del periodo se cumpla con la demanda total del año. Asimismo, en la estrategia de persecución, se ajusta dinámicamente el número de viajes realizados para satisfacer las variaciones mensuales en la demanda, lo que optimiza la utilización de los aviones y los costos operativos. En este caso, el número de personas transportadas y los viajes realizados varían mes a mes, lo que refleja una mayor adaptabilidad a las necesidades específicas de cada periodo. En la Figura 5, se observan dos líneas que siguen un comportamiento similar, lo que evidencia que los recursos se asignan de manera flexible para cumplir con los requerimientos mensuales. Esta adaptabilidad es una característica distintiva de la estrategia de persecución que permite ajustar los recursos según las fluctuaciones en la demanda operativa.

Figura 5
Estrategias de nivelación y persecución aplicadas para el transporte de personal en ala fija



En la Figura 6, se presenta una comparación de los costos totales entre las estrategias de nivelación y persecución para el transporte de personas en ala fija (aviones). Se observa que los costos de ambas estrategias son equivalentes, lo que permite a la empresa elegir la estrategia más adecuada según sus objetivos y prioridades operativas, ya sea estabilidad en los recursos utilizados o flexibilidad para ajustarse a la demanda. Los valores base utilizados fueron obtenidos de Coneo Rincón (2019).

Figura 6
Comparación entre costos nivelación y persecución para el transporte de personal en ala fija



Resultados para transporte de ala fija carga (aviones de carga)

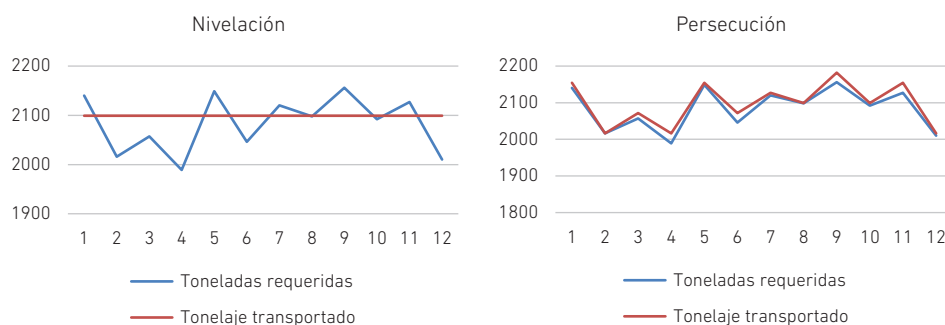
En la Figura 7, se presentan los resultados de las estrategias de nivelación y persecución aplicadas al transporte aéreo en la modalidad de ala fija (aviones). En la estrategia de nivelación, los datos incluyen las toneladas requeridas, el número total de viajes realizados y el costo mensual asociado. Este enfoque mantiene constante la cantidad

de viajes a lo largo del tiempo, independientemente de las variaciones mensuales en la demanda. Esta estabilidad permite a la empresa planificar sus operaciones de manera eficiente y predecible, lo que optimiza el uso de recursos y reduce la incertidumbre operativa. Como resultado, al finalizar el periodo, se logra cumplir con la demanda acumulada del año de manera eficiente y ordenada, tal como se observa en la Figura 10, donde el número de viajes permanece constante a lo largo del tiempo.

Por otro lado, la estrategia de persecución se caracteriza por ajustar dinámicamente el número de viajes para satisfacer las necesidades específicas de cada mes. Los datos reflejan el número de viajes realizados, las toneladas transportadas y el costo total mensual. En este caso, los recursos se asignan de manera flexible en función de los requerimientos operativos, lo que permite una utilización óptima de los aviones y una gestión eficiente de los costos. A diferencia de la estrategia de nivelación, el número de toneladas transportadas varía mensualmente para adaptarse a la demanda, tal como se observa en la Figura 7, donde dos líneas evidencian un comportamiento similar entre la demanda y los recursos asignados. Esta capacidad de adaptarse a las fluctuaciones es una característica distintiva de la estrategia de persecución, lo que asegura una respuesta eficiente a los cambios en la demanda y optimiza el uso de los recursos disponibles.

Figura 7

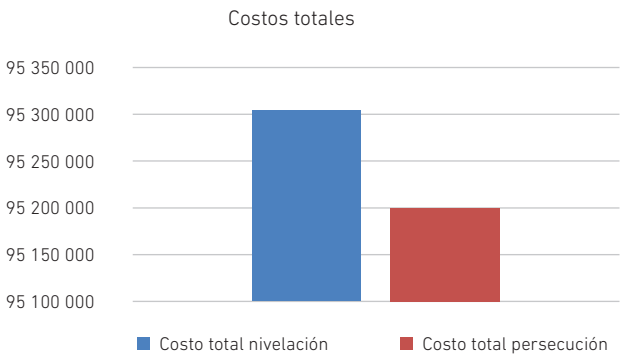
Estrategias de nivelación y persecución aplicadas para el transporte de material en ala fija



En la Figura 8, se presenta una comparación de los costos totales entre las estrategias de nivelación y persecución para el transporte de material en ala fija (aviones). Se observa que el costo asociado a la estrategia de nivelación es superior al de la estrategia de persecución. Este análisis sugiere que la empresa debería optar por la estrategia de persecución para transportar material en ala fija, ya que permite una asignación más eficiente de los recursos y una reducción significativa en los costos operativos, por lo que se adapta mejor a las necesidades de la demanda mensual.

Figura 8

Comparación entre los costos nivelación y persecución para el transporte de material en ala fija



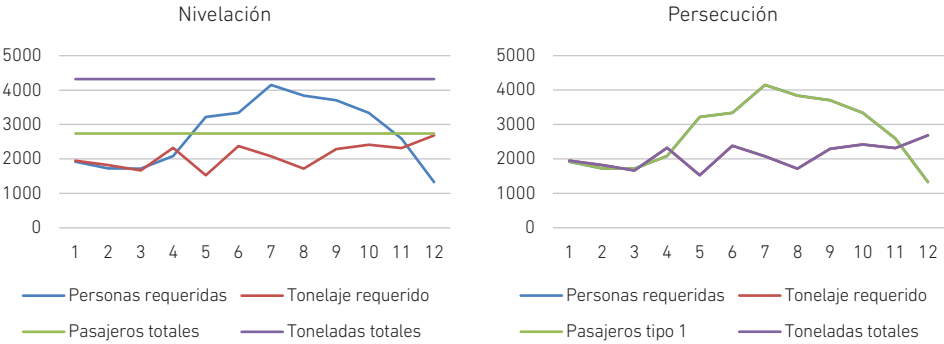
Transporte ala rotatoria (helicópteros)

En la Figura 9, se presentan los resultados de las estrategias de nivelación y persecución aplicadas al transporte de personal y material en ala rotatoria (helicóptero). En la estrategia de nivelación, los datos incluyen el número de viajes realizados, la cantidad de personas transportadas, la cantidad de toneladas transportadas y el costo total de los viajes mensuales. Este enfoque se caracteriza por mantener un número constante de viajes a lo largo del tiempo, independientemente de las fluctuaciones en la demanda mensual. Esta estabilidad operativa permite a la empresa planificar sus recursos de manera eficiente, por lo que se garantiza que, al final del periodo, se cumpla con la demanda total del año.

Por otro lado, en la estrategia de persecución, se ajusta dinámicamente el número de viajes realizados para satisfacer las variaciones mensuales en la demanda, lo que optimiza la utilización de los aviones y los costos operativos. En este caso, el número de personas transportadas y los viajes realizados varían mes a mes, lo que refleja una mayor adaptabilidad a las necesidades específicas de cada periodo.

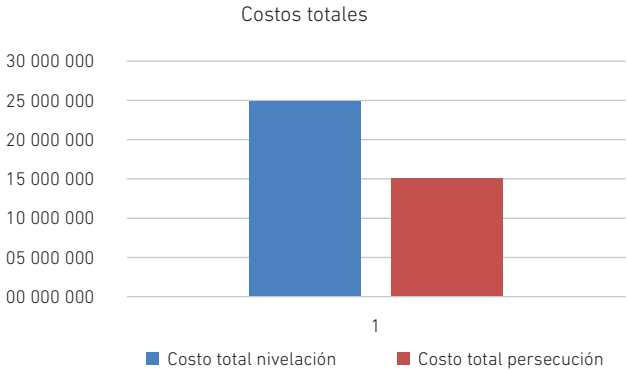
En la Figura 9, en la gráfica sobre la estrategia de persecución, se observan cuatro líneas que representan las personas requeridas, el tonelaje requerido, los pasajeros de tipo 1 y las toneladas totales. En la gráfica de nivelación también se aprecian cuatro líneas que corresponden a las personas requeridas, el tonelaje requerido, los pasajeros y las toneladas totales (véase la Figura 9).

Figura 9
Estrategias de nivelación y persecución para el transporte de material y personal en ala rotatoria



En la Figura 10, se presenta una comparación de los costos totales entre las estrategias de nivelación y persecución para el transporte de material y personal en ala rotatoria (helicópteros). Se observa que el costo asociado a la estrategia de nivelación es superior al de la estrategia de persecución. Este análisis sugiere que la empresa debería optar por la estrategia de persecución para el transporte de material y personal en ala rotatoria, ya que permite una asignación más eficiente de los recursos y una reducción significativa en los costos operativos, por lo que se adapta mejor a las necesidades de la demanda mensual.

Figura 10
Comparación entre costos de nivelación y persecución para el transporte de material y personal en ala rotatoria



DISCUSIÓN

Los hallazgos de este estudio sobre la aplicación de estrategias de nivelación y persecución en el transporte terrestre, fluvial y aéreo en el sector hidrocarburos complementan y extienden los resultados reportados en investigaciones previas sobre planeación agregada y gestión de recursos. Por ejemplo, la estabilidad operativa observada en la estrategia de nivelación refleja los beneficios de mantener niveles constantes de recursos y producción, como lo destacan Caicedo Rolón et al. (2019), quienes lograron minimizar costos en una industria metalmecánica al emplear una estrategia mixta. Asimismo, el ajuste dinámico de recursos en la estrategia de persecución concuerda con el enfoque propuesto por Ortiz-Licon et al. (2020), con el que se demostró la eficacia de algoritmos para optimizar la asignación de recursos frente a restricciones variables.

En el contexto específico del transporte, este estudio reafirma la importancia de la flexibilidad operativa para adaptarse a fluctuaciones de demanda, lo que se alinea con los hallazgos de Melchor y Monserrat (2023), quienes implementaron modelos de planeación agregada para optimizar costos operativos en organizaciones de construcción. De manera similar, las comparaciones de costos totales realizadas en este trabajo son consistentes con los estudios de Chaves-Aguilar et al. (2020), quienes identificaron cómo las variables y pronósticos empleados influyen en la elección de estrategias de planeación y los resultados obtenidos.

En cuanto a la gestión de inventarios, la capacidad de las estrategias de persecución para reducir costos y optimizar recursos resuena con los logros reportados por Cortijo Sánchez y Estrada Díaz (2020), quienes documentaron reducciones significativas de costos mediante la implementación de sistemas MRP en manufactura. Este aspecto también subraya la necesidad de sistemas robustos de pronóstico, como sugiere Caiza (2022), cuyos modelos de planeación y pronóstico permitieron minimizar costos y mejorar la precisión en las decisiones operativas.

Finalmente, los resultados de este estudio destacan la importancia de adaptar las herramientas de planeación agregada a las particularidades del sector hidrocarburos, lo que ha ampliado las conclusiones de Charpentier Alcívar et al. (2021) sobre la planificación del transporte de carga en el mediano plazo. Esto sugiere que, aunque las metodologías existentes ofrecen un marco sólido, es necesario desarrollar enfoques específicos que integren las características únicas de este sector, lo que maximiza la eficiencia operativa y la toma de decisiones en la logística de transporte.

CONCLUSIONES

La implementación de la planeación agregada para el transporte de materiales y personal resultó ser una herramienta clave para la empresa que opera en el sector de

hidrocarburos. Esta metodología permitió diseñar una estrategia eficiente orientada a minimizar los costos de transporte mientras se aseguraba el cumplimiento de la demanda proyectada para cada mes. En este proceso, se aplicaron y compararon dos estrategias principales: persecución y nivelación.

El análisis detallado de los costos asociados a cada estrategia reveló que la estrategia de persecución era la opción más favorable para todos los medios de transporte. Esto se debió a que, además de presentar el costo más bajo, esta estrategia logró satisfacer de manera precisa las necesidades de transporte mes a mes, lo que garantizó la optimización de los recursos disponibles.

Adicionalmente, los resultados proporcionaron información valiosa, como la cantidad de personas o materiales transportados, el número de vehículos requeridos por mes y la cantidad total de viajes que la empresa debe realizar. Estos datos se integraron en un plan de acción completo que sirve como base para las operaciones del año próximo, lo que facilitará una planificación más estructurada y eficiente. De esta forma, la empresa no solo optimiza sus costos operativos, sino que también mejora la capacidad de respuesta frente a las exigencias del sector y las variaciones en la demanda.

Para finalizar, la mejor estrategia a utilizar es la de persecución, ya que es la que garantiza costos más bajos mientras cumple con la demanda de manera precisa y eficiente, pues se adapta de forma adecuada a las necesidades operativas de la empresa en cada periodo.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

Carlos Sebastian Pachón Cubides: conceptualización, análisis formal, investigación, metodología, administración de proyecto, recursos, *software*, visualización, escritura-borrador original, redacción: revisión y edición. **Luis Tarazona-Torres:** conceptualización, metodología, supervisión, validación, redacción: revisión y edición.

REFERENCIAS

Alvarez Valencia, C. M., & Marroquín Chávez, H. F. (2019). *Aplicación de un sistema de planeación agregada de la producción para incrementar la productividad de la empresa Sabor de Casa, 2019* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Institucional de la Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/47779>

- Caicedo Rolón, A. J., Criado-Alvarado, A. M., & Morales-Ramón, K. J. (2019). Modelo matemático para la planeación de la producción en una industria metalmecánica. *Scientia Et Technica*, 24(3), 408-419. <https://doi.org/10.22517/23447214.16031>
- Caiza, J. L. (2022). Modelo matemático de la producción de la empresa Salinerito en la provincia de Bolívar. *South Florida Journal of Development*, 3(6), 6588-6611. <https://doi.org/10.46932/sfjdv3n6-017>
- Charpentier Alcívar, A., Feitó Cespón, M., Durán Chávez, C. E., & Henríquez Jiménez, C. D. (2021). Planeación jerárquica de las transportaciones de carga en una pyme operadora logística. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 4(1), 6-15. <https://doi.org/10.62452/jpjs6812>
- Chaves-Aguilar, F., Ocampo-Rodríguez, J. C., Araya-Martínez, P., Meneses-Guzmán, M., & Gutiérrez-Brenes, R. (2020). Comparación del plan agregado de producción bajo metodologías de autores americanos y europeos. *Tecnología en Marcha*, 33(2), 17-26. <http://doi.org/10.18845/tm.v33i2.4201>
- Cieza Silva, L. O. (2020). *Planeación de la producción y su efecto en la productividad en la empresa Avícola Denisse E. I. R. L., Jequetepeque, 2020* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Institucional de la Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/56068>
- Coneo Rincón, M. (2019, 18 de octubre). Conozca los costos y trámites que debe responder para tener avión privado en Colombia. *La República*. <https://www.larepublica.co/ocio/conozca-los-costos-y-tramites-que-debe-responder-para-tener-avion-privado-en-colombia-2965480>
- Cortijo Sánchez, S. D. M., & Estrada Diaz, R. N. A. (2020). *Implementación de un sistema MRP para disminuir los costos de inventarios en la empresa Manufacturas de Calzado Carubi S. A. C., 2019* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Institucional de la Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/45939>
- Cruz, G. P. L., García, J. A. J., González, S. H., & Ripalda, M. D. H. (2022). Reducción de los costos asociados a la producción mediante simulación Monte Carlo y planeación agregada. *Pistas Educativas*, 44(143), 560-573. <https://pistaseducativas.celaya.tecnm.mx/index.php/pistas/article/view/2715/2190>
- Custodio Gómez, C. F., & Sánchez Gómez, E. J. (2020). *Modelo de un plan de requerimiento de materiales en la línea de producción de cuero curtido de la empresa Curtiduría Orión S. A. C., 2020* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Institucional de la Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/51346>

- Flórez García, J. A. (2019). *Plan de mejoramiento de la planeación de la producción e inventarios de artículos terminados en maderas y tapizados en el centro productivo de Botero Losada S.A* [Proyecto de grado, Universidad Tecnológica de Pereira]. Repositorio Institucional Universidad Tecnológica de Pereira. <https://hdl.handle.net/11059/10280>
- Gallardo Díaz, E. N., & Salvatierra Ramos, D. O. (2020). *Efecto de un sistema MRP en los costos de inventarios de la empresa Manufacturas de Calzado Jaguar S. A. C., 2019* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Institucional de la Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/52182>
- Gálvez Castañeda, M. Y., & Valencia Carrera, L. L. (2019). *Implementación de un sistema de planificación agregada de la producción para incrementar la productividad en la ladrillera Pakatnamú S. A. C., 2019* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Institucional de la Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/50685>
- Gavidia Gurbillon, G. A., & Quiroz Santisteban, A. S. (2023). *Efecto de la mejora de la productividad mediante la planeación de la producción en la empresa Avícola El Palmar S. A. C. Trujillo, 2023* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Institucional Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/136743>
- Gelves Alarcón, O. M., & Navarro Romero, E. C. (2021). *Principios de la gestión de la producción: una revisión teórica y aplicada de los conceptos*. Ediciones USTA. <https://doi.org/10.15332/li.lib.2022.00327>
- Huanay Allca, F. E., Taboada Gomez, J. P. I., & Vásquez Benites, R. P. (2015). *Propuesta de mejora en el transporte de combustibles líquidos vía terrestre y fluvial a zonas remotas* [Tesis de maestría, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC. <http://hdl.handle.net/10757/596561>
- Madariaga Fernández, C. J., Lao León, Y. O., Curra Sosa, D. A., & Lorenzo Martín, R. (2022). Empleo de algoritmos KNN en metodología multicriterio para la clasificación de clientes, como sustento de la planeación agregada. *Retos de la Dirección*, 16(1), 178-198. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2306-91552022000100178&script=sci_arttext
- Melchor, B., & Monserrat, G. (2023). *Minimización de costos operativos a través de la aplicación de planeación agregada en el área de concretos de la empresa Concretos LAR, S. A. de CV en la ciudad de Tuxpan Veracruz* [Tesis de licenciatura, Instituto Tecnológico Superior de Álamo Temápache]. Repositorio

- Institucional del Tecnológico Nacional de México. <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/5679>
- Moreto-Febre, L. P., Clavijo-Salas, C. L., Castillo Martínez, W. E., Olivos-Jiménez, L. M., & Miñan-Olivos, G. S. (2022, 6-7 de diciembre). Modelo de transporte para la optimización de costos en el planeamiento agregado de una empresa pesquera [Presentación de paper]. En *Exponential technologies and global challenges: Moving toward a new culture of entrepreneurship and innovation for sustainable development*. LACCEI. <http://doi.org/10.18687/LEIRD2022.1.1.65>
- Nahmias, S. (2017). *Análisis de la producción y las operaciones* (5.ª ed.). McGraw-Hill.
- Nieto Rivas, A. A., & Oñate Peñuela, N. (2023). *Modelo de gestión de producción a través de la gestión de inventarios y planeación de requerimientos de materiales en la organización Madear LTDA* [Tesis de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <http://hdl.handle.net/11349/39500>
- Ortiz-Licon, A., Tuoh-Mora, J. C. S., & Montufar-Benítez, M. A. (2020). Aplicación del algoritmo de búsqueda gravitacional para optimizar un problema de planeación agregada de la producción. *Pädi. Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 8(15), 1-6. <https://doi.org/10.29057/icbi.v8i15.4945>
- Prado Cornejo, A. B. (2019). *Diseño y aplicación de un modelo de enrutamiento de vehículos para optimizar el planeamiento y programación de rutas de transporte aéreo de pasajeros en helicóptero en el proyecto Camisea* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio Institucional Universidad Nacional Mayor de San Marcos. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/11337>
- Saavedra Zapata, M. J., & Sevillano Ordinola, L. F. (2021). *Planeación de requerimiento de materiales para disminuir los costos del sistema de inventario en la empresa panificadora Sandoval-Larco, Trujillo 2020* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorio de la Universidad Privada Antenor Orrego. <https://hdl.handle.net/20.500.12759/7827>
- Sánchez Verdezoto, C. A., Sánchez Verdezoto, C. del R., Cáliz Verdezoto, M. A., & Domínguez Caiza, J. L. (2022). Modelo matemático de la producción de la empresa Salinerito en la provincia de Bolívar. *South Florida Journal of Development*, 3(6), 6588-6611. <https://doi.org/10.46932/sfjdv3n6-017>

LEAN MANUFACTURING Y SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE PLÁSTICO

DAYANARA DAILY MONSERRATE SALVATIERRA*

<https://orcid.org/0000-0002-5708-9152>

Facultad de Posgrado,
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

YANELIS RAMOS ALFONSO

<https://orcid.org/0000-0001-8383-1245>

Facultad de Ingenierías y Ciencias Aplicadas,
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

RICARDO LARRY CASTRO COELLO

<https://orcid.org/0000-0003-4447-5529>

Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas,
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Recibido: 23 de diciembre del 2024 / Aceptado: 28 de febrero del 2025

Publicado: 10 de junio del 2025

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2025.n48.7659>

RESUMEN: En este artículo se revisa la implementación y los impactos del *lean manufacturing* en la industria del plástico, con el objetivo de sintetizar y evaluar cómo la adopción de esta metodología ha contribuido a mejorar la eficiencia, reducir costos y optimizar procesos productivos. Utilizando una metodología de revisión sistemática, se seleccionaron 97 artículos pertinentes. Los resultados principales de la revisión han indicado que *lean* no solo mejora la eficiencia operativa y reduce los desperdicios significativamente, sino que también fomenta la integración de tecnologías avanzadas como la industria 4.0. Además, se ha observado que, por lo general, tiene un enfoque basado en la sostenibilidad, pues *lean* facilita prácticas que apoyan la conservación ambiental y la reducción de la huella de carbono. En conclusión, se ha demostrado que *lean manufacturing* es una herramienta efectiva

Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

* Autor corresponsal

Correos electrónicos en orden de aparición: dmonserrate5156@utm.edu.ec; yanelis.ramos@utm.edu.ec; ricardo.castro@utm.edu.ec

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

para mejorar las operaciones, pero su implementación efectiva requiere enfoques que se adapten a las particularidades culturales y estructurales de cada empresa.

PALABRAS CLAVE: *lean manufacturing* / eficiencia en la producción / optimización de procesos / industria 4.0 / sostenibilidad ambiental

LEAN MANUFACTURING AND ITS APPLICATION IN THE PLASTICS INDUSTRY

ABSTRACT. This article comprehensively reviews the implementation and impacts of Lean Manufacturing in the plastics industry, with the aim of synthesizing and evaluating how the adoption of these methodologies has contributed to improving efficiency, reducing costs and optimizing production processes. Using a systematic review methodology, 97 relevant articles were selected. The main results of the review indicate that Lean not only improves operational efficiency and reduces waste significantly, but also encourages the integration of advanced technologies such as Industry 4.0. In addition, a strong focus on sustainability is observed, with Lean facilitating practices that support environmental conservation and carbon footprint reduction. In conclusion, while Lean Manufacturing has proven to be an effective tool for improving operations, its effective implementation requires tailored approaches that consider the cultural and structural particularities of each company.

KEYWORDS: *lean manufacturing* / production efficiency / process optimization / industry 4.0 / environmental sustainability

INTRODUCCIÓN

Lean manufacturing es una filosofía de gestión orientada a maximizar el valor al cliente mientras se eliminan desperdicios a lo largo de la cadena de valor. Sus herramientas más representativas son las 5S (*sort, set in order, shine, standardize, sustain*), que optimizan la organización del lugar de trabajo; el *kaizen*, centrado en la mejora continua; el *kanban*, que regula los flujos de producción; y el *single minute exchange of die* (SMED), diseñado para reducir tiempos de cambio (Quiroz-Flores & Vega-Alvites, 2022). Además, Ottoni et al. (2021) han destacado el uso del mapa de flujo de valor para identificar cuellos de botella, lo que permite la mejora de procesos de manera más efectiva. Estas herramientas han demostrado ser esenciales para mejorar la productividad y reducir costos en diversas industrias, incluida la del plástico.

En Ecuador, esta industria representa un pilar importante para actividades económicas como la agricultura, la alimentación y la manufactura, con una producción que supera los 490 000 000 de toneladas anuales (Mórtola Valero, 2022). Sin embargo, existen limitaciones significativas en la documentación de metodologías como *lean* para optimizar sus procesos. Por ello, esta investigación ha tenido como objetivo recopilar y analizar información disponible para ofrecer una comprensión integral de cómo esta metodología ha impactado en el sector y qué oportunidades podrían derivarse de su implementación.

Lean manufacturing es fundamental en la industria del plástico debido a su enfoque en la reducción de desperdicios y la optimización de procesos. Esta metodología promueve la eficiencia en el uso de recursos, pues minimiza la generación de residuos plásticos que pueden contribuir significativamente a la contaminación ambiental. Al implementar *lean manufacturing*, las empresas plásticas pueden mejorar sus procesos de reciclaje y reutilización, lo que reduce la cantidad de desechos que terminan en vertederos y océanos. Además, al disminuir el consumo de energía y materiales, se genera un impacto positivo en la sostenibilidad ambiental.

Anteello, Vieira et al. (2022) demostraron que la aplicación de *lean* en la manufactura de empaques plásticos no solo mejoró los indicadores de la empresa, sino que también transformó la cultura organizacional hacia una filosofía de mejora continua y eliminación de desperdicios. En la misma línea, Quiroz-Flores y Vega-Alvites (2022) demostraron que la aplicación de las 5S y el SMED permitió aumentar la eficiencia global de los equipos en un 13 % y reducir los tiempos de preparación en un 48 %, lo que reafirma la importancia de *lean* en la optimización de procesos industriales. Así, la reducción de desperdicios mediante estrategias como el mantenimiento autónomo y el mapeo de flujo de valor no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también juega un papel crucial en la mitigación de los peligros ambientales asociados con la industria del plástico. En otras palabras, al disminuir tiempos de producción y

minimizar defectos en la fabricación, se evita el desperdicio de materia prima y se optimiza la gestión de los recursos, lo que permite que las empresas adopten modelos de producción más sostenibles y alineados con las exigencias del mercado actual.

El interés en la industria del plástico como objeto de revisión se justifica por su relevancia dentro de la economía ecuatoriana y por los retos específicos que enfrenta en términos de competitividad y sostenibilidad. Según Informes de Expertos (2023), el mercado de plásticos en Ecuador alcanzó un valor de US\$ 724 090 000 en el 2023, con una proyección de crecimiento anual del 5 % hasta el 2032. No obstante, problemas como el alto nivel de desperdicio y la necesidad de alinearse con normativas ambientales más estrictas resaltan la pertinencia de estudiar metodologías como *lean manufacturing* para abordar estas problemáticas.

En Ecuador, la industria plástica enfrenta una realidad compleja con desafíos relacionados con la innovación en procesos productivos y el cumplimiento de normativas ambientales. Aunque la producción y el consumo de plásticos han crecido de manera constante, la adopción de herramientas de gestión como *lean manufacturing* sigue siendo baja en comparación con otros países de la región. Esta revisión busca analizar críticamente cómo estas herramientas han sido utilizadas en contextos similares, con el fin de identificar patrones, beneficios y limitaciones que puedan enriquecer la discusión sobre su aplicabilidad en el ámbito nacional.

Diversas revisiones sistemáticas han explorado la aplicación de *lean manufacturing* en diferentes sectores. Quiroz-Flores y Vega-Alvites (2022) reportaron mejoras significativas en la eficiencia operativa en pequeñas y medianas empresas, mientras que Page et al. (2021a) resaltaron la utilidad del marco Prisma para la revisión de literatura sobre esta metodología. Por otro lado, Ottoni et al. (2021) señalaron que, en la industria plástica brasileña, la adopción de *lean manufacturing* es limitada debido a barreras culturales y organizativas. Estos antecedentes subrayan la importancia de realizar análisis bibliográficos en contextos específicos para enriquecer el conocimiento global sobre *lean manufacturing* en sectores como el plástico.

La adopción de prácticas de manufactura esbelta (*lean manufacturing*) en la industria del plástico ha demostrado ser una herramienta efectiva para optimizar procesos y reducir desperdicios. Quispe Cordova et al. (2023) ilustraron la aplicación de herramientas *lean* y el *total productive maintenance* (TPM) para mejorar la disponibilidad de maquinaria en una pyme del sector plástico y destacan la relevancia de estas metodologías para incrementar la eficiencia operativa.

Por otro lado, Gavriluță et al. (2021) han desarrollado un algoritmo para la implementación de métodos *lean* específicos en procesos de producción industrial. Este estudio proporciona un marco práctico que puede ser adaptado por las industrias

del plástico para enfrentar desafíos operacionales, lo que demuestra la versatilidad de *lean manufacturing* en diferentes entornos de producción.

Adicionalmente, Kumar Saha y Mahmud (2022) presentan un estudio de caso en una compañía de plásticos, en el que se aplican herramientas y técnicas *lean* para mejorar el rendimiento de producción y la reducción de desperdicios. Ottoni et al. (2021) exploran el nivel de uso de *lean* en la industria plástica y proporcionan una perspectiva amplia sobre cómo estas prácticas están siendo adaptadas y sus efectos en la eficiencia operativa. Vlachos et al. (2021) llevan esta discusión un paso adelante al introducir sistemas de manufactura esbelta dentro del contexto de la industria 4.0, mostrando cómo la automatización *lean* —a través de vehículos guiados automáticamente (*automatic guided vehicle*, AGV) y el internet de las cosas (*internet of things*, IoT)— puede ser integrada para fortalecer los procesos productivos.

A diferencia de las revisiones existentes sobre *lean manufacturing* que han abordado su impacto de manera general en diversos sectores, este estudio se distingue al enfocar su análisis específicamente en la industria del plástico y al destacar las particularidades y desafíos que enfrenta este sector en su transición hacia la sostenibilidad y eficiencia operativa. Si bien otros trabajos han explorado la implementación de herramientas *lean* de manera aislada o en contextos regionales, este artículo combina una perspectiva global con un enfoque crítico que integra las últimas tendencias tecnológicas, como la convergencia de *lean manufacturing* con la industria 4.0. Así, se busca aportar un análisis actualizado y diferenciado que oriente tanto a investigadores como a empresas en la optimización de procesos dentro de este sector industrial.

La metodología Prisma utilizada en esta revisión no solo garantiza una selección sistemática y transparente de los estudios más relevantes, sino que también permite comparar cómo los criterios y enfoques han evolucionado en la literatura reciente. Mientras que los estudios precedentes han tendido a enfocarse en métricas operativas tradicionales, este trabajo amplía el marco de análisis para incluir indicadores relacionados con sostenibilidad ambiental, integración tecnológica y adaptabilidad cultural, elementos clave para el contexto actual de la industria del plástico. Este enfoque proporciona una contribución significativa al identificar áreas de oportunidad no abordadas en revisiones anteriores. De esta manera, se establece un hilo conductor que refuerza la relevancia y novedad de este estudio.

METODOLOGÍA

En el presente estudio se empleó la metodología Prisma (*preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses*) para la revisión de literatura. Este método fue elegido debido a su capacidad para sistematizar de manera exhaustiva y transparente

el proceso de recopilación, evaluación y síntesis de información relevante en el ámbito de *lean manufacturing* en la industria del plástico. La versión más reciente de Prisma, según Matthew Page et al. (2021a), incluye una lista de cotejo de 97 ítems que optimiza la presentación de revisiones sistemáticas mediante recomendaciones detalladas que mejoran la transparencia y la aplicabilidad de los resultados. Adicionalmente, Page et al. (2021b) han explicado cada elemento de esta nueva versión de Prisma y destacan su utilidad para estructurar las revisiones de forma completa y comprensible.

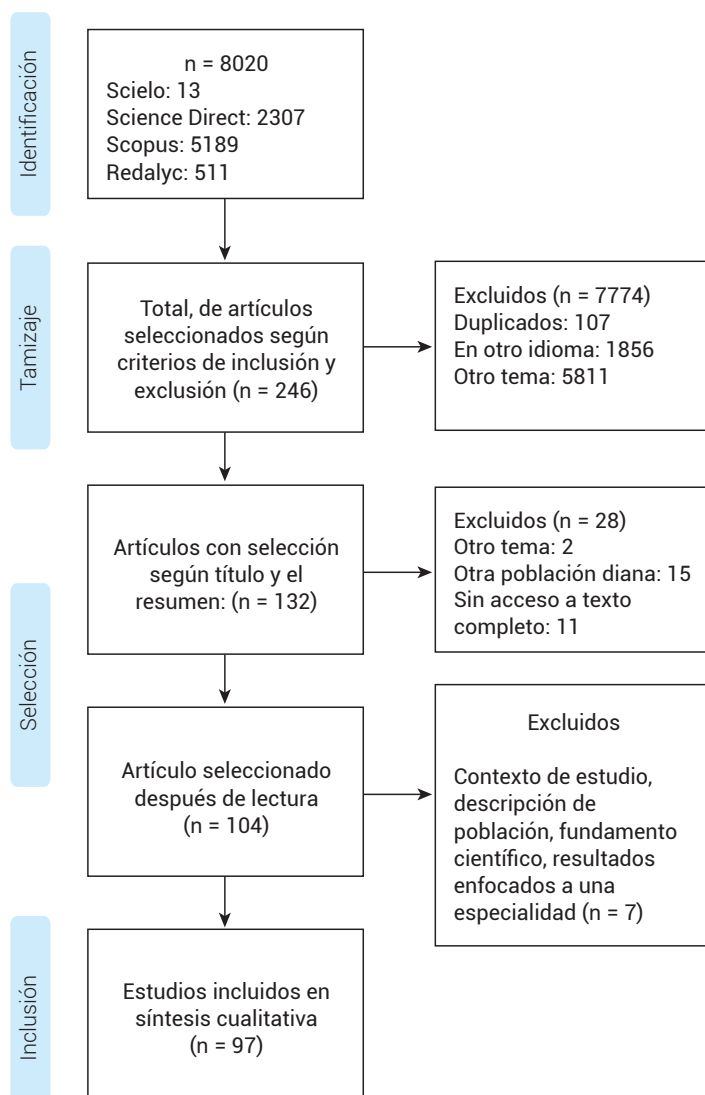
La recolección de información se efectuó mediante consultas en bases de datos académicas de gran relevancia, tales como Scielo, Science Direct, Redalyc y Scopus. Estas fuentes fueron seleccionadas en función de su prestigio y su capacidad para cubrir ampliamente temas relacionados con la ingeniería industrial y las metodologías de producción esbelta. Se limitó la búsqueda a estudios publicados en inglés y español durante el periodo 2019-2024 en los últimos cinco años, con el fin de asegurar la pertinencia y actualidad de la información respecto a las tendencias contemporáneas en manufactura esbelta.

Para la búsqueda de artículos, se utilizaron términos específicos como *lean manufacturing*, *industria plástica*, *optimización de procesos* y *eficiencia de producción*. Estos términos fueron combinados y ajustados lingüísticamente con el fin de maximizar la cobertura de literatura relevante. Los documentos recuperados pasaron por una primera fase de selección en la que se analizaron los títulos y resúmenes para descartar aquellos que no estuvieran alineados con el objetivo del estudio o que no cumplieran con los estándares de calidad y relevancia establecidos previamente.

En la segunda fase de evaluación, los estudios seleccionados fueron analizados en profundidad, para lo cual se revisó su metodología, resultados y conclusiones con el fin de determinar su valor y aporte al conocimiento actual sobre *lean manufacturing* en el sector de la industria del plástico. Finalmente, se llevó a cabo una extracción de datos detallada enfocada en las técnicas *lean* implementadas, los logros alcanzados y las recomendaciones propuestas en cada estudio. Este proceso de extracción garantizó la inclusión únicamente de la información más relevante y precisa, lo que permitió una síntesis detallada sobre la aplicación de *lean manufacturing* en la industria del plástico y se resaltó tanto las tendencias actuales como las áreas de oportunidad para futuras investigaciones (véase la Figura 1).

Figura 1

Flujograma de la búsqueda sistemática y la selección de artículos



En la Tabla 1, se pueden observar las revistas más relevantes seleccionadas en esta investigación debido a su alto impacto y contribución significativa en el campo de la manufactura esbelta aplicada a la industria del plástico. Estas publicaciones han sido elegidas por su rigor científico, reconocimiento internacional y por abordar estudios que integran estrategias de eficiencia en procesos de producción de plásticos, proporcionando un marco teórico y práctico valioso para la implementación de mejoras en este sector.

Tabla 1
Revistas relevantes seleccionadas

País	Revista	Tipo de industria de plásticos
Estados Unidos	Chemistry of Materials	Publica investigaciones en materiales poliméricos avanzados y sus aplicaciones en diversas industrias, incluyendo la del plástico.
Estados Unidos	Macromolecules	Se enfoca en la química de polímeros y abarca estudios sobre plásticos y sus propiedades.
Estados Unidos	Journal of Applied Polymer Science	Publica investigaciones aplicadas relacionadas con polímeros e incluye desarrollos en materiales plásticos.
Estados Unidos	ACS Applied Materials & Interfaces	Cubre aplicaciones prácticas de materiales e incluye innovaciones en plásticos funcionales.
España	Información Tecnológica	Presenta estudios sobre la implementación de manufactura esbelta en la industria manufacturera e incluye al sector plástico.
México	Ciencia & Trabajo	Publica investigaciones sobre mejoras en procesos industriales y destaca aplicaciones en manufactura esbelta en empresas de plásticos.
Chile	Journal of Cleaner Production	Se enfoca en prácticas sostenibles en la producción e incluye estudios sobre eficiencia en la industria del plástico mediante manufactura esbelta.

RESULTADOS

Revisión de procesos de producción y áreas críticas de ineficiencia

La implementación de prácticas de manufactura esbelta en la industria del plástico ha demostrado ser una estrategia efectiva para mejorar la eficiencia operativa y reducir los desperdicios; sin embargo, su adopción no es uniforme, ya que depende de factores como el conocimiento de las herramientas *lean*, la infraestructura tecnológica y la capacitación del personal. Ottoni et al. (2021) señalaron que, aunque *lean* ha sido aplicado en diversas empresas plásticas en Brasil, solo una fracción de ellas ha logrado implementarlo de manera efectiva, lo que resalta la necesidad de un compromiso organizacional más estructurado. De manera similar, Gavriluță et al. (2021) desarrollaron un algoritmo para seleccionar métodos *lean* específicos en procesos de inyección plástica, con lo que se logró reducir el área de producción, el tiempo de ciclo y el número de operadores, lo que permitió mejorar indicadores clave de desempeño.

Por otro lado, Quispe Cordova et al. (2023) evidenciaron que el uso de herramientas como el SMED y el TPM en una empresa de plásticos permitió reducir los tiempos de cambio de moldes y mejorar la disponibilidad de maquinaria, lo que impactó directamente

en la reducción de costos operativos y el aumento de la productividad. Tales resultados reforzaron la idea de que, si bien la manufactura esbelta ofrece beneficios tangibles, su implementación exitosa requiere una planificación estratégica, capacitación continua y una cultura organizacional orientada a la mejora. En este contexto, la aplicación de *lean* en la industria del plástico no solo permite reducir desperdicios y optimizar la producción, sino que también representa un factor clave para la sostenibilidad del sector, lo que facilita la adaptación de las empresas a nuevas regulaciones ambientales y demandas del mercado global.

Un estudio realizado por Issa (2018) en la industria de bolsas de plástico fusionadas reveló cómo la implementación de principios *lean* ha llevado a mejoras significativas, especialmente en la reducción de tiempos de cambio de moldes y optimización de la capacidad productiva. La estandarización de procesos y la mejora continua facilitaron notables avances en productividad, con lo que se demostró que un compromiso firme con las técnicas de *lean* puede conducir a una optimización sustancial de recursos.

No obstante, la adopción de herramientas *lean* puede enfrentar barreras significativas. Elbadawi (2018) investigó cómo se incorporan estas herramientas en la ciudad industrial de Hail, donde se observó que su implementación mostró una variabilidad considerable entre empresas, atribuible en parte a barreras culturales y falta de capacitación adecuada. Además, la integración de la industria 4.0 con prácticas de *lean manufacturing* en las industrias plásticas y petroquímicas de Arabia Saudita ha potenciado la sostenibilidad de estas operaciones, según Ghaithan et al. (2021). La incorporación de tecnologías avanzadas, como la automatización y la analítica de datos, junto con prácticas *lean*, han mejorado la eficiencia operativa y el desempeño ambiental.

En Indonesia, Jaqin et al. (2023) destacaron cómo la implementación de conceptos *lean* en la industria de inyección de plástico ha reducido significativamente los desperdicios de tiempo de proceso. El estudio identificó áreas clave donde el tiempo se perdía ineficazmente y propuso soluciones basadas en *lean* para optimizar estos procesos. Los resultados demuestran que pequeñas mejoras, como la reorganización del *layout* de la planta y la capacitación en el puesto de trabajo, pueden tener impactos sustanciales en la reducción de los tiempos de ciclo.

Asimismo, la identificación de residuos en la industria de fabricación de tubos fue abordada por Rahman et al. (2018) utilizando el concepto *lean*. Este caso práctico reveló cómo el mapeo de valor y el análisis de las operaciones pueden exponer significativas oportunidades de mejora en áreas como inventario excesivo, sobreproducción y defectos. Al aplicar herramientas *lean* específicas, la empresa no solo redujo los costos operativos, sino que también mejoró la entrega a tiempo, destacando la versatilidad de *lean* para abordar problemas específicos de producción de manera efectiva.

Por otro lado, Cordova-Pillco et al. (2022) implementaron la metodología *lean*-SLP en una pyme peruana del sector plástico, con lo que se logró una reducción del 57 % en los tiempos de preparación, lo que refleja el potencial de *lean* para mejorar la eficiencia en operaciones de menor escala. De manera similar, Gavriluță et al. (2021) desarrollaron un algoritmo para la selección de herramientas *lean* en la industria de inyección de plástico, lo que permitió optimizar tiempos y reducir el uso de espacio, lo cual es crítico para mejorar la productividad en esta industria.

Además, Vieira et al. (2022) exploraron cómo la implementación de *lean* en el sector de empaques plásticos no solo reduce el desperdicio, sino que también mejora la cultura organizacional al fomentar prácticas de mejora continua. Este enfoque organizacional también fue señalado por De la Vega et al. (2023), quienes en su estudio sobre factores críticos de éxito en la industria mexicana identificaron que el liderazgo y la capacitación son esenciales para la sostenibilidad de *lean manufacturing*.

En términos de sostenibilidad, Sari et al. (2022) aplicaron *lean* en una empresa de moldes plásticos en Indonesia y lograron mejoras en los indicadores de sostenibilidad mediante la reducción de actividades sin valor agregado, lo cual muestra el impacto positivo de *lean* en el ciclo de producción. En contraste, Ottoni et al. (2021) encontraron un bajo nivel de conocimiento y adopción de *lean* en empresas plásticas brasileñas y señalaron la variabilidad en la implementación de herramientas y la falta de una adopción generalizada de estas prácticas.

Por otro lado, Ahmed et al. (2020) exploraron las barreras para la implementación de *lean* e ISO 14001 en empresas de manufactura plástica, donde identificaron desafíos culturales y técnicos. Yuik et al. (2020) destacaron la capacitación continua y la participación de los empleados como claves para la sostenibilidad de *lean* en pymes de maquinaria. Arroyo-Huayta et al. (2020) mostraron cómo la aplicación de SMED y mantenimiento autónomo en una empresa plástica en Perú redujo los tiempos de configuración y fallos en un 50 %. Quispe Cordova et al. (2023) mejoraron la disponibilidad de maquinaria en una pyme plástica mediante *lean* y TPM, con lo que se optimizaron los tiempos de cambio de moldes. En resumen, estos estudios han ilustrado el potencial de *lean manufacturing* para mejorar procesos y abordar ineficiencias en la industria del plástico, destacando la necesidad de adaptar herramientas y comprometerse con la formación y mejora continua para maximizar los beneficios de estas prácticas.

Adaptación de metodologías *lean* para la optimización de flujos de trabajo

Un ejemplo claro de esta adaptación es el estudio de Deshkar et al. (2018), quienes diseñaron y evaluaron un marco de manufactura esbelta utilizando el mapeo de la cadena de valor (*value stream mapping*, VSM) en una unidad de fabricación de bolsas de plástico. Este enfoque permitió identificar y eliminar cuellos de botella en la producción, lo que

resultó en una reducción significativa del tiempo de ciclo y en la mejora de la eficiencia del flujo de trabajo. El uso del VSM demostró ser una herramienta efectiva para visualizar procesos y facilitar decisiones estratégicas que impulsan la eficiencia operativa.

En un contexto más avanzado, Vlachos et al. (2021) exploraron cómo los sistemas de manufactura esbelta pueden integrarse con las tecnologías de la industria 4.0, como los AGV y el IoT. Su estudio sobre la planificación de la automatización *lean* revela que la combinación de *lean* con tecnología de punta no solo mejora la eficiencia, sino que también aumenta la capacidad de adaptación y escalabilidad de los procesos productivos.

Asimismo, Buitron-Lopez et al. (2019) presentaron un modelo de manufactura esbelta basado en el ciclo de Deming y desarrollado en diagramas de Gantt para aumentar la eficiencia en empresas plásticas. Este modelo no solo facilita la visualización de las actividades y la planificación de la producción, sino que también permite la implementación continua de mejoras, una piedra angular de la filosofía *lean*. La estructura cíclica de planificar-hacer-verificar-actuar (*plan-do-check-act*, PDCA) proporcionada por el ciclo de Deming ofrece un método iterativo y efectivo para la gestión y mejora continua de la calidad en la producción de plásticos.

Romero et al. (2021) implementaron una metodología de optimización multicriterio en piezas plásticas de la industria automotriz, lo que alinea objetivos de producción y sostenibilidad. Vieira et al. (2022) utilizaron herramientas *lean* en una empresa de empaques plásticos y mejoraron indicadores de planta y promovieron una cultura organizacional enfocada en la mejora continua. De manera complementaria, Kumar Saha y Mahmud (2022) aplicaron VSM y 5S en una planta en Bangladesh y lograron una reducción del tiempo de producción y defectos en un 12,56 %.

Cordova-Pillco (2022) mostró cómo *lean*-SLP incrementó un 13,4 % el cumplimiento de pedidos y redujo un 57 % los tiempos de configuración en una mype peruana del sector plástico. Pekenene et al. (2023) implementaron *lean six sigma* en una planta de redes plásticas en Botswana, lo que redujo defectos mediante DOE y análisis de regresión. Sari et al. (2022) utilizaron el mapeo de flujo de valor sostenible (*sustainable value stream mapping*, Sus-SVSM) en moldes plásticos en Indonesia, con lo que se logró mejoras en la sostenibilidad y se eliminó actividades sin valor agregado. Ottoni et al. (2021) resaltaron la variabilidad en la implementación de *lean* en Brasil, destacando la necesidad de capacitación para su éxito.

Greinacher et al. (2020) propusieron un modelo multiobjetivo que combina *lean* y eficiencia de recursos, lo que equilibró metas económicas y ambientales mediante simulaciones. Tripathi et al. (2021) integraron *lean* con enfoques de industria 4.0 y mejoraron la sostenibilidad en manufactura avanzada. Kovács (2020) destacó la reducción de costos y mejoras en ergonomía al combinar *lean* con el diseño de *layouts*,

mientras que Sari et al. (2022) aplicaron estrategias *lean* para optimizar la sostenibilidad en moldes plásticos, con lo que eliminaron actividades sin valor agregado y mejoraron los flujos de producción.

Estrategias *lean* para el fortalecimiento de la producción de plásticos

La implementación de estrategias *lean* en la industria del plástico no solo se centra en la optimización de flujos de trabajo y la reducción de desperdicios, sino también en fortalecer de manera integral la producción. Las herramientas y técnicas *lean*, aplicadas estratégicamente, pueden llevar a mejoras significativas en la eficiencia operativa, la calidad del producto y la sostenibilidad ambiental. Diversos estudios han explorado estas aplicaciones con resultados que resaltan la transformación positiva en las operaciones de producción plástica (véase la Tabla 2). Por ejemplo, en el estudio de caso de Kumar Saha y Mahmud (2022) en una empresa plástica, se emplearon herramientas y técnicas *lean* para mejorar el rendimiento de la producción y reducir el desperdicio. Su investigación destacó cómo la implementación de herramientas específicas, como el *kaizen* (mejora continua) y el 5S, logró no solo reducir los tiempos de ciclo y los defectos de producción, sino también fortalecer la cultura de trabajo en equipo y el compromiso con la calidad entre los empleados. Este estudio subrayó la relevancia de adaptar las herramientas *lean* al contexto y necesidades específicas de la empresa para maximizar su eficacia (Kumar Saha & Mahmud, 2022).

En un estudio realizado por Ottoni et al. (2021), se examinó el nivel de uso de prácticas *lean* en la industria del plástico, con lo que se mostró que, aunque la adopción varía ampliamente, las empresas que implementan estas prácticas de manera más integral experimentan mejoras notables en la eficiencia y en la reducción de costos operativos. Este estudio también señaló que la educación y capacitación continua en principios *lean* son fundamentales para sustentar estas mejoras a largo plazo (Ottoni et al., 2021).

Poves-Calderno et al., (2019) abordaron la aplicación de la manufactura esbelta en una empresa peruana de plásticos, centrándose en cómo las estrategias *lean* pueden ser implementadas para mejorar la flexibilidad y respuesta del proceso productivo frente a las demandas del mercado. El uso de simulaciones y análisis de procesos permitió identificar oportunidades de mejora en la configuración de la maquinaria y en la gestión de la cadena de suministro, lo que resultó en un aumento de la capacidad de producción sin comprometer la calidad.

Quiroz-Flores y Vega-Alvites (2022) investigaron un modelo de manufactura esbelta bajo el enfoque de mantenimiento preventivo en pequeñas y medianas empresas (pymes) del sector plástico. Su estudio ha destacado cómo la integración de mantenimiento preventivo con las prácticas *lean* puede mejorar significativamente la eficiencia operativa. La prevención de fallos antes de que ocurran no solo reduce los

tiempos de inactividad, sino que también extiende la vida útil de los equipos, un aspecto crucial para la sostenibilidad financiera y ambiental de las pymes.

Ribeiro et al. (2019) demostraron el impacto positivo de la aplicación de herramientas *lean* en una empresa plástica, donde la adopción de estas prácticas resultó en una notable mejora de los procesos. El estudio resaltó cómo la implementación de sistemas de retroalimentación y control de calidad en cada etapa de la producción no solo optimizó el rendimiento operativo, sino que también aumentó la satisfacción del cliente al mejorar la consistencia y calidad del producto final.

La implementación de *lean manufacturing* continúa evolucionando a medida que las industrias buscan integrar nuevas técnicas para optimizar aún más sus operaciones y reducir el impacto ambiental. En este contexto, estudios adicionales ofrecen perspectivas valiosas sobre cómo diferentes métodos y enfoques pueden complementar las estrategias *lean* tradicionales, con los cuales brindan resultados tangibles y sostenibles.

Agung y Hasbullah (2019) demostraron cómo la integración del SMED y de las 5S en la industria de moldeo por inyección reduce el tiempo de inactividad entre cambios de producción y aumenta la eficiencia, destacando la importancia de un entorno de trabajo organizado para facilitar procesos más rápidos. Dahmani et al. (2021) propusieron un modelo que combina *lean manufacturing* con diseño ecológico en la industria 4.0, con el cual promovieron la economía circular mediante la optimización de recursos y la minimización de desechos desde la fase de diseño. Kafuku (2019) destacó factores clave como la capacitación y el compromiso directivo para la adopción efectiva de *lean* en Tanzania, mientras que Logesh y Balaji (2020) investigaron la manufactura verde y mostraron cómo *lean* puede reducir desechos y costos en empresas de componentes eléctricos. Nassereddine y Wehbe (2018) revelaron que *lean* fortalece la resiliencia empresarial en la industria plástica del Líbano ante fluctuaciones económicas.

Por su parte, Quispe Cordova et al. (2023) demostraron cómo *lean* combinado con TPM mejora significativamente la disponibilidad de maquinaria en pymes plásticas, con lo que se aumentó la eficiencia y la calidad del producto. Rahardjo et al. (2023) integraron *lean* con tecnologías de la industria 4.0 y crearon sistemas de manufactura más sostenibles y eficientes. Estas investigaciones subrayan cómo *lean* se adapta a contextos diversos para mejorar la productividad, optimizar recursos y reforzar la sostenibilidad en distintos sectores industriales y regiones económicas.

Bajo esta línea, Romero et al. (2021) presentaron una metodología para la optimización del diseño de productos plásticos con un enfoque en mercados altamente competitivos. Su enfoque multicriterio consideró diversos factores como costos, desempeño y sostenibilidad ambiental. Esta metodología es un ejemplo de cómo los

principios *lean* pueden aplicarse no solo a la producción, sino también al diseño de productos, con lo que se asegura que estos sean eficientes y viables desde múltiples perspectivas en el ambiente competitivo actual.

Por otra parte, Kumar Saha y Mahmud (2022) llevaron a cabo un estudio de caso en una empresa de plásticos, en la que aplicaron herramientas y técnicas *lean* para mejorar el rendimiento de la producción y la reducción de desperdicios. Este estudio ha destacado la implementación exitosa de prácticas como *kaizen* y análisis de flujo de valor para identificar y eliminar ineficiencias, de las que han resultado mejoras sustanciales en la eficiencia operativa y en la reducción de costos. Este enfoque no solo benefició a la empresa en términos de productividad, sino que también contribuyó a una cultura de mejora continua.

Por otro lado, Sari et al. (2022) exploraron cómo una estrategia competitiva *lean* puede mejorar el rendimiento sostenible en la industria de moldeo de plásticos. Su estudio demostró que, al integrar prácticas *lean* en todas las facetas de la producción, las empresas no solo pueden mejorar su eficiencia operativa, sino también su sostenibilidad ambiental. La adaptación de los principios *lean* para enfocarse en la sostenibilidad es particularmente relevante en el contexto de crecientes preocupaciones ambientales y regulaciones más estrictas.

Singh y Singh (2020) analizaron la aplicación de la manufactura esbelta en una unidad de fabricación automotriz y proporcionaron valiosas lecciones que son aplicables en la industria del plástico. Aunque el estudio se centró en el sector automotriz, las herramientas y técnicas discutidas son igualmente relevantes para la manufactura de plásticos, donde la eficiencia y la minimización de desperdicios son críticas. Este estudio subrayó la universalidad de *lean* y cómo puede ser adaptado a diferentes sectores industriales para mejorar la calidad y reducir los costos (Singh & Singh, 2020).

Strachotová y Strachota (2018) se centraron en la producción *lean* durante el procesamiento de moldes de plástico e identificaron cómo las prácticas *lean* pueden mejorar la eficiencia durante las etapas críticas de la producción. Este estudio destacó específicamente la importancia del diseño eficiente de moldes y la optimización del proceso de moldeo para reducir el desperdicio y aumentar la productividad.

Vieira et al. (2022) documentaron cómo la implementación de *lean* en una industria de empaques plásticos mejoró el flujo de trabajo, redujo la variabilidad y optimizó el manejo del inventario. Sari et al. (2022) aplicaron mapeo de flujo de valor sostenible en moldes plásticos en Indonesia, con lo que mejoraron la eficiencia y redujeron el impacto ambiental. Quispe Cordova et al. (2023) combinaron *lean* y TPM en una pyme plástica y lograron reducir tiempos de cambio de moldes y optimizar materiales.

Ottoni et al. (2021) analizaron el limitado conocimiento de *lean* en empresas plásticas brasileñas y resaltaron la necesidad de capacitación estructurada. Kumar Saha y Mahmud (2022) usaron VSM y DMAIC en Bangladesh, con lo que lograron reducir defectos y mejorar la eficiencia. Romero et al. (2021) y Lestari et al. (2021) demostraron cómo *lean* y *lean six sigma* pueden integrar sostenibilidad y competitividad en el diseño y manufactura de productos plásticos (véase la Tabla 2).

Tabla 2

Comparativa de investigaciones lean manufacturing en la industria del plástico

Autores	Herramientas lean utilizadas	Logros en eficiencia, costos y optimización	Dificultades en la implementación
Issa (2018)	Estandarización de procesos, mejora continua	Reducción de tiempos de cambio de moldes	Compromiso con lean
Elbadawi (2018)	Variabilidad en la adopción de, barreras culturales	Implementación inconsistente de lean	Falta de capacitación
Ghaithan et al. (2021)	Industria 4.0 integrada con lean	Automatización y eficiencia operativa	Costos iniciales de tecnología
Jaçin et al. (2023)	Reorganización de layout, reducción de desperdicios	Reducción de desperdicio de tiempo	Resistencia al cambio en layout
Rahman et al. (2018)	Mapeo de valor, reducción de inventarios y defectos	Reducción de costos y mejora en entregas	Inventarios excesivos y sobreproducción
Cordova-Pillco et al. (2022)	Lean-SLP, reducción de tiempos de preparación	57 % de reducción en tiempos de preparación	Dificultades en logística interna
Gavriluță et al. (2021)	Algoritmo para selección de herramientas lean	Optimización de tiempos y uso de espacio	Selección adecuada de herramientas
Vieira et al. (2022)	Cultura organizacional y mejora continua	Mejoramiento de indicadores de planta	Cambio cultural en la organización
De la Vega et al. (2023)	Factores críticos de éxito en lean	Liderazgo y capacitación mejoran sostenibilidad	Factores internos y externos influyentes
Sari et al. (2022)	Sostenibilidad con lean	Menos actividades sin valor agregado	Complejidad de sostenibilidad
Ottoni et al. (2021)	Falta de adopción estructurada de lean	Adopción limitada de lean en Brasil	Falta de capacitación estructurada
Ahmed et al. (2020)	Barreras para implementar lean e ISO 14001	Desafíos culturales y técnicos en implementación	Dificultades en certificaciones
Yuik et al. (2020)	Capacitación y participación de empleados	Sostenibilidad de lean en pymes	Resistencia de empleados
Arroyo-Huayta et al. (2020)	SMED y mantenimiento autónomo	50 % de reducción en fallos y configuración	Resistencia al mantenimiento autónomo
Quispe Cordova et al. (2023)	Lean y TPM para optimización de tiempos	Optimización en cambio de moldes	Desafíos técnicos en lean y TPM

Sobre la base de la Tabla 2, se observa que la implementación de herramientas *lean* en la industria del plástico ha permitido mejoras significativas en la eficiencia operativa, la reducción de costos y la optimización de procesos; sin embargo, la variabilidad en su aplicación evidencia diferencias en el grado de adopción y en los resultados obtenidos. Investigaciones como las de Issa (2018) y Cordova-Pillco et al. (2022) destacan la importancia de la estandarización de procesos y la aplicación de *lean*-SLP para reducir los tiempos de preparación y cambio de moldes. Del mismo modo, Rahman et al. (2018) lograron disminuir inventarios excesivos y defectos mediante el mapeo de valor, y mejorar costos y tiempos de entrega. Por otro lado, estudios como los de Gavriluță et al. (2021) y Vieira et al. (2022) han subrayado la relevancia de la cultura organizacional y la mejora continua. En ambos casos, la adopción de *lean* no solo optimizó los flujos de trabajo, sino que también consolidó un modelo de gestión orientado a la eficiencia a largo plazo.

Si bien *lean manufacturing* ha demostrado ser eficaz en distintos entornos industriales, su implementación no ha sido homogénea. Así, mientras que Ghaithan et al. (2021) evidenciaron la integración exitosa de *lean* con la industria 4.0 en sectores petroquímicos, lo que ha logrado una mayor automatización y sostenibilidad, Ottoni et al. (2021) señalaron la baja adopción de estas herramientas en Brasil debido a la falta de capacitación estructurada. En la misma línea, Ahmed et al. (2020) identificaron barreras culturales y técnicas que obstaculizaban la aplicación de *lean* e ISO 14001 en manufactura plástica; sin embargo, Yuik et al. (2020) enfatizaron que la capacitación y la participación de los empleados fueron determinantes para la sostenibilidad de estas prácticas en pymes. Adicionalmente, estudios como los de Sari et al. (2022) y De la Vega et al. (2023) han reforzado la importancia del liderazgo y la adaptación de estrategias *lean* a las condiciones específicas de cada empresa. No obstante, la integración de estas herramientas con enfoques sostenibles sigue representando un reto significativo para muchas organizaciones.

En relación con las dificultades en la implementación, la resistencia al cambio aparece como un factor recurrente. En este sentido, Jaqin et al. (2023) identificaron que la reorganización del *layout* y la reducción de desperdicios, aunque efectivas, enfrentaron oposición interna, lo que también se evidenció en el estudio de Arroyo-Huayta et al. (2020) sobre la implementación de SMED y mantenimiento autónomo. Asimismo, Quispe Cordova et al. (2023) han resaltado que la combinación de *lean* y TPM permitió optimizar los tiempos de cambio de moldes en una pyme plástica; sin embargo, los desafíos técnicos dificultaron la adopción de estas herramientas. En términos generales, la tabla comparativa muestra que, aunque *lean manufacturing* puede generar impactos positivos en la eficiencia y competitividad de la industria del plástico, su éxito depende de factores como la planificación adecuada, el compromiso del liderazgo y una estrategia de formación continua que facilite la apropiación de estas metodologías en distintos contextos productivos.

DISCUSIÓN

lean manufacturing ha demostrado ser una metodología eficaz para mejorar la eficiencia operativa en el sector plástico, según diversos estudios. Quiroz-Flores y Vega-Alvites (2022) implementaron 5S, SMED y TPM en una empresa de inyección de plástico y lograron un aumento del 13 % en la eficiencia general del equipo (*overall equipment effectiveness*, OEE) y una reducción del 48 % en los tiempos de preparación. De manera similar, Quispe Cordova et al. (2023) aplicaron *lean* y TPM en una pyme del sector plástico y redujeron tiempos de cambio de moldes y costos operativos, mientras que Jaqin et al. (2023) documentaron una disminución del 32,7 % en el tiempo de procesamiento en Indonesia, con lo que incrementaron la productividad y redujeron desperdicios. Kumar Saha y Mahmud (2022) y Sari et al. (2022) destacaron la efectividad de *lean* para mejorar la calidad del producto y la sostenibilidad de los procesos, con lo que eliminaron actividades sin valor agregado y optimizaron ciclos de producción.

Por otro lado, Gavriluță et al. (2021) desarrollaron un algoritmo que facilitó la selección de herramientas *lean* en empresas de inyección de plástico y mejoraron la estandarización de procesos. Loyola et al. (2023) implementaron SMED y TPM en la producción de botellas PET y lograron una reducción del 2,41 % en productos defectuosos. Ottoni et al. (2021) identificaron desafíos en la adopción de *lean* en empresas brasileñas y enfatizaron la importancia de un cambio cultural y de la capacitación para maximizar los beneficios. En un contexto similar, Agung y Hasbullah (2019) aplicaron SMED y las 5S en una empresa en Indonesia y redujeron en 18 % los tiempos de cambio y la eliminación de residuos. Por su parte, Flores et al. (2020) utilizaron mantenimiento autónomo y *kanban* en Perú, con lo que disminuyó el desperdicio de materiales en un 7,78 %.

En términos de sostenibilidad, Ghaithan et al. (2021) y Tripathi et al. (2021) exploraron la sinergia entre *lean* y la industria 4.0, y destacaron su potencial para reducir residuos y optimizar el desempeño ambiental. Kovács (2020) combinó *lean* con el diseño de *layouts* y logró mejoras en ergonomía, costos y gestión de inventarios. Greinacher et al. (2020) propusieron simulaciones de eventos discretos para optimizar recursos y balancear objetivos económicos y ambientales. Vieira et al. (2022) transformaron la cultura organizacional de una empresa de empaques plásticos y la enfocaron hacia la mejora continua, mientras que Ribeiro et al. (2019) integraron herramientas visuales como las 5S y el SMED para aumentar la producción y reducir los tiempos de ciclo.

Asimismo, Poves-Calderno et al. (2019) implementaron SMED y mantenimiento preventivo en Perú, con lo que mejoraron el OEE en un 9,02 % al reducir tiempos improductivos. Helm et al. (2022) abordaron la sostenibilidad mediante estrategias como el reciclaje y la responsabilidad extendida del productor (*extended producer responsibility*, EPR), y complementaron *lean* con un enfoque de economía circular. Estos estudios destacaron cómo *lean* puede adaptarse a diversas necesidades, desde

mejorar la productividad hasta promover la sostenibilidad, con lo que se reforzó su relevancia en la industria plástica.

Adicionalmente, se encontró que la implementación de *lean manufacturing* en la industria del plástico presentó particularidades que dependían de factores estructurales y culturales específicos, lo que influyó en la variabilidad de los resultados obtenidos en diferentes estudios. Mientras que algunas empresas lograron mejoras significativas en la eficiencia operativa mediante herramientas como el SMED, las 5S y TPM, otras enfrentaron barreras que limitan su adopción, tales como resistencia al cambio, falta de capacitación y escaso compromiso organizacional. Comparativamente, estudios como el de Quispe Cordova et al. (2023) han evidenciado que la aplicación de *lean* en una pyme peruana permitió reducir los tiempos de cambio de moldes en un 57 % y mejorar la disponibilidad de maquinaria, lo que optimizó costos y aumentó la eficiencia productiva en un 13,4 %.

En contraste, Ottoni et al. (2021) identificaron que en Brasil la adopción de *lean* es limitada, ya que solo tres de ocho empresas estudiadas han implementado estas prácticas de manera efectiva, lo que demostró que la falta de capacitación y compromiso organizacional sigue siendo una barrera clave. De manera similar, Jaqin et al. (2023) documentaron una reducción del 32,7 % en el tiempo de procesamiento en la industria de inyección de plástico en Indonesia, lo que incrementó la productividad y minimizó desperdicios. Estos datos cuantitativos evidenciaron que la implementación de *lean* en la industria del plástico no es homogénea y que su efectividad depende de la capacidad de las organizaciones para adaptar estas herramientas a sus propias dinámicas productivas y desafíos operacionales.

Por otra parte, los resultados analizados reflejan que la influencia de los aspectos culturales y estructurales en la implementación de *lean manufacturing* no solo condiciona su adopción, sino que también determina el nivel de éxito de las estrategias aplicadas. Ahmed et al. (2020) señalaron que la integración de *lean* con normativas ambientales, como ISO 14001, enfrenta desafíos técnicos y culturales que dificultan su implementación en la manufactura plástica; sin embargo, Vieira et al. (2022) demostraron que la transformación cultural dentro de una empresa de empaques plásticos permitió consolidar la mejora continua como parte de su estructura organizativa, lo que facilitó la implementación de prácticas *lean* de manera sostenible.

Del mismo modo, Quiroz-Flores y Vega-Alvites (2022) destacaron que la combinación de las 5S y el SMED en la industria del plástico no solo optimizó los procesos productivos, sino que también fomentó un cambio en la mentalidad de los trabajadores, lo que promovió una mayor disciplina y compromiso con la eficiencia operativa. En términos de impacto cuantitativo, Loyola et al. (2023) documentaron una reducción del 2,41 % en productos defectuosos tras la aplicación del SMED y TPM en la

producción de botellas PET, mientras que Agung y Hasbullah (2019) lograron disminuir en un 18 % los tiempos de cambio mediante la aplicación de las mismas herramientas en una empresa de moldeo por inyección. Estos hallazgos sugieren que la implementación de *lean* no puede limitarse únicamente a la introducción de herramientas técnicas, sino que requiere un enfoque integral que incluya la gestión del cambio, la capacitación continua y el fortalecimiento del liderazgo organizacional.

Gavriliuță et al. (2021) desarrollaron un algoritmo para seleccionar métodos *lean* específicos en una empresa de inyección plástica y lograron una reducción del área de producción en un 10 %, del tiempo de ciclo en un 15 % y del número de operadores en un 20 %, lo que se tradujo en mejoras concretas en los indicadores de desempeño. Asimismo, Quiroz-Flores y Vega-Alvites et al. (2022) evidenciaron que la aplicación de *lean* permitió aumentar la OEE en un 13 % y reducir los tiempos de preparación en un 48 %, por lo que se optimizó el flujo de trabajo y se redujo tiempos muertos. En el ámbito de la manufactura esbelta con integración tecnológica, Ghaithan et al. (2021) documentaron que la automatización *lean* con la industria 4.0 en la industria petroquímica permitió incrementar la eficiencia operativa en un 22 % y reducir desperdicios en un 19 %, destacando el potencial de *lean* para potenciar la sostenibilidad del sector. Si bien estos resultados evidencian mejoras significativas, la falta de estudios que cuantifiquen los efectos de *lean* de manera estandarizada impide establecer comparaciones directas entre distintos entornos productivos.

CONCLUSIONES

Los 97 artículos seleccionados para esta revisión abarcan un amplio espectro de aplicaciones de *lean manufacturing* en la industria del plástico, lo que proporciona un panorama detallado y variado sobre cómo esta metodología ha sido adaptada y adoptada globalmente para mejorar la eficiencia operativa, reducir costos y optimizar procesos productivos. A través de un análisis exhaustivo de estos estudios, se ha podido sintetizar y evaluar efectivamente la influencia de *lean manufacturing* en el sector, subrayando no solo las mejoras tangibles en términos de rendimiento y sostenibilidad, sino también destacando áreas de oportunidad para futuras investigaciones y desarrollos prácticos.

A través de la implementación de herramientas *lean* tradicionales, como el SMED y las 5S, junto con metodologías más avanzadas que incluyen la integración de tecnologías de la industria 4.0, las empresas han logrado avances notables. Estos avances se traducen en ciclos de producción más rápidos, menos tiempos muertos, menor acumulación de inventario y una mayor satisfacción del cliente debido a la mejora en la calidad del producto.

En términos de sostenibilidad, *lean* ha emergido como un facilitador clave para prácticas de producción más verdes. Al minimizar los desperdicios y mejorar la eficiencia del uso de los recursos, las empresas no solo cumplen con las regulaciones ambientales más estrictas, sino que también mejoran su reputación corporativa y cumplen con las expectativas de los consumidores que cada vez están más conscientes del medioambiente. Este enfoque hacia la sostenibilidad está alineado con las tendencias globales hacia la reducción de la huella de carbono y el impulso hacia una economía circular.

A pesar de los numerosos beneficios, la implementación de *lean* no está exenta de desafíos. La revisión ha identificado que, aunque muchas empresas han logrado integrar con éxito *lean* en sus operaciones, otras han enfrentado obstáculos significativos, tales como resistencia al cambio, falta de capacitación adecuada y dificultades en la adaptación cultural. Estos desafíos subrayan la necesidad de enfoques personalizados y bien gestionados para la implementación de *lean* que consideren las particularidades culturales y operativas de cada empresa.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

Dayanara Daily Monserrate Salvatierra (autora principal): conceptualización, recolección de datos, análisis formal, revisión bibliográfica, redacción del borrador inicial, diseño de figuras y flujogramas. **Yanelis Ramos Alfonso:** metodología, selección de artículos relevantes, supervisión, revisión y edición del manuscrito final. **Ricardo Larry Castro Coello:** supervisión, revisión y edición del manuscrito final.

REFERENCIAS

- Agung, D., & Hasbullah, H. (2019). Reducing the product changeover time using SMED & 5S methods in the injection molding industry. *Sinergi*, 23(3), 199-212 <https://doi.org/10.22441/sinergi.2019.3.004>
- Ahmed, A., Mathrani, S., & Jayamaha, N. (2020). Barriers for an integrated lean and ISO 14001 implementation for sustaining environmental performance in the manufacturing industry. En *2020 IEEE Asia-Pacific Conference on Computer Science and Data Engineering*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/CSD50874.2020.9411384>

- Arroyo-Huayta, C., Cruces-Raimudis, S., Viacava-Campos, G., León-Chavarri, C., & Aderhold, D. (2020). Model to improve the efficiency in the extrusion area in a manufacturing SME of the industrial plastic sector based on SMED, autonomous maintenance, and 5S. En T. Ahram, R. Taiar, K. Langlois & A. Choplin (Eds.), *Human interaction, emerging technologies and future applications III* (pp. 545-551). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55307-4_83
- Buitron-Lopez, L., et al. (2019). Lean manufacturing model based on the Deming cycle and developed in Gantt to increase efficiency in plastic companies. En *Proceedings of the 2019 IEEE 39th Central America and Panama Convention*. IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8976984>
- Cordova-Pillco, D. A., Mendoza-Coaricona, M. K., & Quiroz-Flores, J. (2022, 18-22 de julio). Lean-SLP production model to reduce lead time in SMEs in the plastics industry: An empirical research in Peru. En M. Larrondo, J. Texier, A. Pena & J. Sánchez (Eds.), *Proceedings of the 20th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education Caribbean for Engineering and Technology*. LACCEI. <https://doi.org/10.18687/laccei2022.1.1.151>
- Dahmani, N., Benhida, K., Belhadi, A., Kamble, S. S., Elfezazi, S., & Kumar Jauhar, S. (2021). Smart circular product design strategies towards eco-effective production systems: A lean eco-design industry 4.0 framework. *Journal of Cleaner Production*, 320, 128847. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128847>
- De la Vega, M., Macias-Velasquez, S., Baez-Lopez, Y., Limón-Romero, J., Tlapa, D. A., & Chávez-Moreno, E. A. (2023). Modeling critical success factors of lean strategy in the manufacturing industry. *Systems*, 11(10), 490. <https://doi.org/10.3390/systems11100490>
- Deshkar, A., Kamle, S., Giri, J., & Korde, V. (2018). Design and evaluation of a Lean Manufacturing framework using value stream mapping (VSM) for a plastic bag manufacturing unit. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 7668-7677. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.442>
- Elbadawi, I. (2018). Investigating the level of involvement of lean manufacturing tools in Hail Industrial City. *International Journal of Forensic Engineering*, 4(1), 75-88. <https://doi.org/10.1504/IJFE.2018.094050>
- Flores, G., Valenzuela, R., Viacava, G., & Del Carpio, C. (2020, 27-31 de julio). Model to reduce waste in the production of labels in Peruvian companies of the plastic sector by applying autonomous maintenance, *kanban* and standardization of work. En M. Larrondo, L. Zapata & C. Aranzazu-Suescun (Eds.), *Proceedings of the 2020 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education*

- Caribbean Conference for Engineering and Technology*. LACCEI. <https://doi.org/10.18687/laccei2020.1.1.96>
- Gavriliuță, A. C., Nițu, E. L., & Gavriliuță, C. A. (2021). Algorithm to use some specific lean manufacturing methods: Application in an industrial production process. *Processes*, 9(4), 641. <https://doi.org/10.3390/pr9040641>
- Ghaithan, A. M., Khan, M., Mohammed, A., & Hadidi, L. A. (2021). Impact of industry 4.0 and lean manufacturing on the sustainability performance of plastic and petrochemical organizations in Saudi Arabia. *Sustainability*, 13(20), 11252. <https://doi.org/10.3390/su132011252>
- Greinacher, S., Overbeck, L., Kuhnle, A., Krahe, C., & Lanza, G. (2020). Multi-objective optimization of lean and resource efficient manufacturing systems. *Production Engineering*, 14(2), 165-176. <https://doi.org/10.1007/s11740-019-00945-9>
- Helm, L. T., Murphy, E. L., McGivern, A., & Borrelle, S. (2022). Impacts of plastic waste management strategies. *Environmental Reviews*, 31(1), 45-65. <https://doi.org/10.1139/er-2021-0117>
- Informes de Expertos. (2023). *Mercado de plástico en Ecuador: análisis, participación y proyecciones 2023-2032*. EMR. <https://www.informesdeexpertos.com/informes/mercado-de-plastico-en-ecuador>
- Issa, T. (2018). Lean manufacturing implementation in fused plastic bags industry. En *Icime 2018: Proceedings of the 2018 10th International Conference on Information Management and Engineering* (pp. 151-158). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3285957.3285958>
- Jaqin, C., Kurnia, H., Purba, H. H., Molle, T. D., & Aisyah, S. (2023). Lean concept to reduce waste of process time in the plastic injection industry in Indonesia. *Nigerian Journal of Technological Development*, 20(2), 1396-1405. <https://doi.org/10.4314/njtd.v20i2.1396>
- Kafuku, J. M. (2019). Factors for effective implementation of lean manufacturing practice in selected industries in Tanzania. *Procedia Manufacturing*, 33, 351-358. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.04.043>
- Kovács, G. (2020). Combination of lean value-oriented conception and facility layout design for even more significant efficiency improvement and cost reduction. *International Journal of Production Research*, 58(10), 2916-2936. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1712490>
- Kumar Saha, R., & Mahmud, F. (2022, 26-27 de diciembre). Lean tools and techniques for improving production performance and waste reduction in a plastic company:

- A case study. En *Proceedings of the 5th International Conference in Industrial and Mechanical Engineering and Operations Management* (pp. 250-260). IEOM Society International. <https://doi.org/10.46254/bd05.20220091>
- Lestari, F., Marie, I. A., & Sari, E. (2021). Sustainable lean six sigma competitive manufacturing strategy for luggage manufacturer. *Journal of Modern Manufacturing Systems and Technology*, 5(2), 22-34. <https://doi.org/10.15282/jmmst.v5i2.6849>
- Logesh, B., & Balaji, M. (2020). Experimental investigations to deploy green manufacturing through reduction of waste using lean tools in electrical components manufacturing company. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 8, 365-374. <https://doi.org/10.1007/s40684-020-00216-4>
- Loyola, B., Bellido, D., & Hurtado, Á. (2023, 19-21 de julio). Model for reducing defective production of PET bottles through lean manufacturing. En *Proceedings of the 21st LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*. LACCEI. <https://doi.org/10.18687/laccei2023.1.1.1155>
- Mórtola Valero, J. (2022). *Informe de gestión ASEPLAS 2022*. Asociación Ecuatoriana de Plásticos. <https://aseplas.ec/wp-content/uploads/2024/06/INFORME-DE-GESTION-ASEPLAS-2022.pdf>
- Nassereddine, A., & Wehbe, A. (2018). Competition and resilience: Lean manufacturing in the plastic industry in Lebanon. *Arab Economic and Business Journal*, 13(2), 179-189. <https://doi.org/10.1016/j.aebj.2018.11.001>
- Otoni, G., Dutra, L., de Jesus, B., Ferraz, J., Silva, F., & Pimentel, C. (2021, 5-8 de abril). A study about the level of lean usage in plastic industry. En *Proceedings of the 2nd South American International Conference on Industrial Engineering and Operations Management* (pp. 30-37). IEOM Society International. <https://doi.org/10.46254/sa02.20210023>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J. M., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021a). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *Journal of Clinical Epidemiology*, 134, 178-189. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2021.03.001>
- Page, M. J., Moher, D., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald,

- S., ... McKenzie, J. (2021b). PRISMA 2020 explanation and elaboration: Updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews. *The BMJ*, 372(160). <https://doi.org/10.1136/bmj.n160>
- Pekenene, T. O., Mphathiwa, T. S., Monageng, R. O. K., Mashaba, K., Jerekias, G., & Kommula, V. (2023). Application of lean six sigma methodology in defect reduction: A case study of Botswana shade net manufacturing plant. En *Proceedings of the 6th European International Conference on Industrial Engineering and Operations Management* (pp. 804-815). <https://doi.org/10.46254/eu6.20230237>
- Poves-Calderno, I., Ramirez-Mendoza, J., Nuñez-Ponce, V., & Alvarez-Merino, J. (2019). Application of lean manufacturing techniques in a Peruvian plastic company. En *Proceedings of the 2019 International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEEM44572.2019.8978813>
- Quispe Cordova, A. C., Acuña Damiano, V. B., & Quiroz-Flores, J. (2023). Improving availability by lean manufacturing and TPM tools in an SME in the plastics sector. En *Proceedings of the Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingeniería*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/CONIITI61170.2023.10324215>
- Quiroz-Flores, J. C., & Vega-Alvites, M. (2022). 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>
- Rahardjo, B., Wang, F., Yeh, R.-H., & Chen, Y.-p. (2023). Lean manufacturing in industry 4.0: A smart and sustainable manufacturing system. *Machines*, 11(1), 72. <https://doi.org/10.3390/machines11010072>
- Rahman, M. S., Tahiduzzaman, Kundu, R., Juwel, S. M. N., & Karim, M. R. (2018). Waste identification in a pipe manufacturing industry through lean concept: A case study. *Journal of Applied Research in Industrial Engineering*, 5(4), 306-323. <https://doi.org/10.22105/jarie.2018.150333.1057>
- Ribeiro, P., Sá, J. C., Ferreira, L. P., Silva, F. J. G., Pereira, M. T., & Santos, G. (2019). The impact of the application of lean tools for improvement of process in a plastic company: A case study. *Procedia Manufacturing*, 38, 765-775. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.104>
- Romero, V. J., Sánchez-Lite, A., & Liraut, G. (2021). Development of a multi-criteria design optimization methodology for automotive plastics parts. *Polymers*, 14(1), 156. <https://doi.org/10.3390/polym14010156>

- Sari, E., Anne Marie, I., Rani, F., & Satria, R. (2022). Sustainable manufacturing performance enhancement using lean competitive strategy: A case study in plastic molding industry. En *Proceedings of the International Conference on Engineering and Information Technology for Sustainable Industry*. Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3557738.3557842>
- Singh, J., & Singh, H. (2020). Application of lean manufacturing in automotive manufacturing unit. *International Journal of Lean Six Sigma*, 11(1), 171-210. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-06-2018-0060>
- Strachotová, D., & Strachota, S. (2018). Lean production during the processing of plastic moldings. *Journal of Innovation and Business Best Practice*, 2018, Artículo 825250. <https://doi.org/10.5171/2018.825250>
- Tripathi, V., Chattopadhyaya, S., Mukhopadhyay, A., Sharma, S., Singh, J., Pimenov, D., & Giasin, K. (2021). An innovative agile model of smart lean-green approach for sustainability in industry 4.0. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 7(4), 215. <https://doi.org/10.3390/joitmc7040215>
- Vieira, M. D., Azevedo, S., Pimentel, C., & Matias, J. (2022, 12-14 de enero). Implementation of Lean management system in a plastic packaging industry. En *Proceedings of the 3rd International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management* (pp. 147-154). <https://doi.org/10.1145/3524338.3524361>
- Vlachos, I. P., Martinez Pascuzzi, R. M., Zobolas, G., Repoussis, P., & Giannakis, M. (2021). Lean manufacturing systems in the area of Industry 4.0: a lean automation plan of AGVs/IoT integration. *Production Planning and Control*, 34(4), 345-358. <https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1917720>
- Yuik, C. J., Perumal, P., & Feng, C. J. (2020). Exploring critical success factors for the implementation of lean manufacturing in machinery and equipment SMEs. *Engineering Management in Production and Services*, 12(4), 77-91. <https://doi.org/10.2478/emj-2020-0029>

IMPACTO DE LOS GENERADORES ELÉCTRICOS EN LA AUDICIÓN DE LOS TRABAJADORES: ESTUDIO DE CASO EN LOCALES COMERCIALES DEL CENTRO DE AMBATO, ECUADOR

JOSÉ FERNANDO MENDOZA RODRÍGUEZ*

<https://orcid.org/0000-0002-0591-2768>

Departamento de Matemática,
Unidad Educativa Joaquín Lalama, Ecuador

CHRISTOPHER SEBASTIÁN POAQUIZA AUCATOMA

<https://orcid.org/0009-0007-0187-0795>

Facultad de Ciencias,
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador

Recibido: 21 de enero del 2025 / Aceptado: 10 de marzo del 2025

Publicado: 10 de junio del 2025

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2025.n48.7716>

RESUMEN. En Ecuador, durante el estiaje sufrido en la temporada seca del 2024, se presentaron inconvenientes en las centrales hidroeléctricas por el bajo caudal en los ríos. Además, debido a los cortes de energía eléctrica, los locales comerciales vieron la necesidad de adquirir generadores eléctricos para continuar con las actividades comerciales. Entonces, se realizó la medición del ruido en veintidós locales comerciales de la ciudad de Ambato. Para dicha medición se utilizó un sonómetro profesional calibrado y se halló que, en los sectores del Mercado Modelo y Teófilo López, el 50 % y el 60 % de las mediciones, respectivamente, superaron el límite de los 85 dB establecidos en el Decreto Ejecutivo 2393. Asimismo, según la información proporcionada por los trabajadores, se determinó que, al utilizar los generadores eléctricos, el zumbido en

Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

* Autor corresponsal

Correos electrónicos en orden de aparición: mendo-10@hotmail.com; cristopherabril132005@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).

los oídos y la dificultad para concentrarse con valores porcentuales de 40,9 % y 36,4 %, respectivamente fueron las afectaciones de mayor incidencia o significativas.

PALABRAS CLAVE: estiaje / generadores eléctricos / ruido / sonómetro / afectaciones

IMPACT OF ELECTRIC GENERATORS ON WORKERS' HEARING: A CASE STUDY OF COMMERCIAL ESTABLISHMENTS IN DOWNTOWN AMBATO, ECUADOR

ABSTRACT. In Ecuador, the dry season in 2024 caused problems at hydroelectric power plants due to the low water flow in the rivers. As a result of power outages, commercial establishments found it necessary to purchase generators to maintain their commercial activities. Noise measurements were conducted in 22 commercial establishments in the city of Ambato. A calibrated professional sound level meter was used for the measurements, revealing that 50% and 60% of the measurements taken in the Mercado Modelo and Teófilo López sectors, respectively, exceeded the 85 dB limit established in Executive Decree 2393. Furthermore, according to information provided by workers, it was determined that the use of electric generators led to ringing in the ears and difficulty concentrating with prevalence rates of 40.9% and 36.4%, respectively, being the most significant adverse effects.

KEYWORDS: drought / electric generators / noise / sound level meter / effects

INTRODUCCIÓN

Se considera que el ruido es uno de los contaminantes ambientales más importantes que constituye una amenaza silenciosa para la salud. Según la Agenda 21 de la Naciones Unidas, es importante aplicar principios de gestión del ruido, entre los cuales se destacan: el principio de precaución y prevención que, asociados a otros componentes de gestión como la vigilancia de los niveles de ruido, modelos de exposición, enfoques para el control y evaluación del mismo, permite desarrollar e implementar estrategias integrales (como se cita en Maya et al., 2010).

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2022) ha indicado que los grados de exposición al ruido no deben exceder los setenta decibeles (dB), dado que este es el rango que el oído humano puede soportar y manejar sin peligro de perjuicio, ya sea de carácter temporal o permanente. No obstante, se considera peligroso cualquier nivel de sonido que supere este límite y es posible que provoque algún tipo de daño auditivo (Briones Ortiz et al., 2023).

El número de decibeles que un generador eléctrico puede fluctuar considerablemente según el tipo de aparato en función. En Ecuador, los generadores más habituales son los que operan con motores de gasolina o *diesel*. Normalmente, un generador de gasolina genera entre 68 dB y 77 dB; en cambio, uno de *diesel* llega a producir niveles sonoros de 77 dB a 88 dB. Estos niveles simbolizan un volumen significativo de sonido, lo que puede tener serias consecuencias tanto para la salud de los oídos como para la salud global (Pintulac, 2024).

Ante los continuos cortes de energía eléctrica en Ecuador, el uso de generadores eléctricos se ha convertido en una solución popular, tanto en hogares como en comercios; sin embargo, especialistas advierten que estos equipos pueden afectar seriamente la salud y el medioambiente. Estos se utilizaron durante la intensa sequía vivida en Ecuador en el 2024, en la que los niveles de agua en los ríos que sustentan las principales centrales hidroeléctricas del país disminuyeron significativamente. Esta fue la mayor sequía de las últimas seis décadas que vivió Ecuador, pues impactó no solo en el sector eléctrico, sino también en la agricultura y en la disponibilidad de agua potable en diversas zonas, y provocó incendios forestales (Orozco, 2024).

No obstante, el Colegio de Ingenieros Eléctricos de Pichincha indicó que los desafíos fundamentales de la crisis energética aún no habían sido resueltos (como se cita en Váscenez, 2024). Además, Ecuador aún dependía de factores climáticos, en particular del agua, lo que le provocaba inestabilidad. Incluso, se indicó que, en los próximos estiajes, podrían producirse racionamientos eléctricos parecidos (Váscenez, 2024).

En tal contexto se utilizaron los generadores eléctricos, los cuales pueden generar contaminación acústica. Este es un tipo de contaminación que se diferencia,

principalmente, por el efecto acumulativo y progresivo que tiene en las personas que se encuentran expuestas al ruido. Este se considera un contaminante, ya que, al producirse, podría ser un riesgo ambiental que se emite con poca energía y que, a diferencia de otros contaminantes, se puede percibir solo por el oído, es decir, su efecto es direccionado y específico (Massa-Palacios et al., 2021).

En ese sentido, cabe resaltar que el oído es aquel órgano que permite una comunicación con el entorno, con el que se perciben sonidos, se entienden y discriminan (Moreira Mayorga & Alfonso Morejón, 2022). Debido a ello, las alteraciones que afectan a la capacidad auditiva, llamadas también hipoacusia, representan un riesgo para la salud, incluso en años recientes, pues su impacto a nivel mundial ha aumentado, sobre todo en el entorno ruidoso de los países desarrollados (Santos Pérez & Novoa López, 2020). En otras palabras, el crecimiento industrial implica un aumento significativo del ruido producido por las máquinas, medios de transporte, entre otros, pues contaminan el entorno y se manifiestan en la población contemporánea como un factor perjudicial para la salud (Landeras-Pilco, 2023).

De tal manera, la pérdida auditiva causada por la exposición constante al ruido se refiere a la reducción de la capacidad auditiva, de manera parcial o total, permanente y acumulativa, como consecuencia de la exposición a entornos con niveles de ruido dañinos, de carácter continuo o variable durante periodos extensos (Moreira Mayorga & Alfonso Morejón, 2022). Por ello, el ruido se considera uno de los principales agentes contaminantes en el medio ambiente debido a que su efecto en la salud y en el bienestar de las personas son notables. Entonces, para garantizar condiciones adecuadas en entornos urbanos y laborales, algunas normativas sobre niveles de ruido establecen medidas clave para evitar daños auditivos (véanse las tablas 1 y 2) y reducir las molestias asociadas a una exposición prolongada al ruido (Vazques Sanchez & Manzano Merchán, 2023). Estas regulaciones son fundamentales para fomentar un entorno seguro y saludable en ambientes residenciales, industriales y laborales (Hernández-Peña et al., 2019).

Tabla 1
Tiempo máximo de exposición al ruido según un nivel equivalente diario

$L_{Aeq,T}$ en dB (A)	Tiempo máximo de exposición
87	8 horas
90	4 horas
93	2 horas
96	1 hora
99	½ hora
102	¼ hora

(continúa)

(continuación)

$L_{Aeq,T}$ en dB (A)	Tiempo máximo de exposición
105	7½ minutos
112	1½ minutos
117	½ minuto
120	15 segundos

Nota. $L_{Aeq,T}$ es el nivel sonoro continuo equivalente ponderado en A en un periodo de tiempo específico. De *Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición al ruido en los lugares de trabajo*, por Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), 2006, p. 29 (<https://www.insst.es/documents/94886/203536/Gu%C3%ADa+t%C3%A9cnica+para+la+evaluaci%C3%B3n+y+prevenci%C3%B3n+de+los+riesgos+relacionados+con+la+exposici%C3%B3n+al+ruido/96a86542-1ac3-42c1-9df2-8c385c67db60>).

Tabla 2

Tiempo de exposición y niveles sonoros medidos en decibeles con el filtro A en posición lenta

Nivel sonoro en dB (A-lento)	Tiempo de exposición por jornada/hora
85	8
90	4
95	2
100	1
110	0,25
115	0,125

Nota. En el Decreto Ejecutivo 2393, en el numeral 6 del artículo 55 menciona que “los puestos de trabajo que demanden fundamentalmente actividad intelectual, o tarea de regulación o de vigilancia, concentración o cálculo, no excederán de 70 decibeles de ruido”. De *Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo*, aprobado por el Decreto Ejecutivo 2393, 17 de noviembre de 1986, numeral 7 del artículo 55, sobre ruidos y vibraciones (<https://www.epemapar.gob.ec/documentos/2015/MAYO/A/a2/NORMATIVA/DECRETO%20EJECUTIVO%202393.pdf>).

Entonces, la finalidad del Decreto Ejecutivo 2393, en su artículo 55, y de la “Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición al ruido en los lugares de trabajo” es controlar y minimizar los riesgos producidos por la exposición a ruidos excesivos, es decir, no buscan solo prevenir los daños auditivos, sino reducir el impacto de estos en la calidad de vida y la eficiencia productiva de los trabajadores. La diferencia entre ambas normativas radica en que el INSST permite hasta un umbral máximo de 87 dB considerando la atenuación por protección auditiva, mientras que el Decreto Ejecutivo 2393 establece un límite máximo de 85 dB sin especificar dicha reducción. Además, la normativa española incorpora diferentes niveles de acción, como el umbral de acción y los límites para ruido de impacto. Además, el INSST caracteriza el ruido como cualquier sonido peligroso, incómodo, inútil o desagradable. Por ello, el ruido puede analizarse como un grupo de propiedades

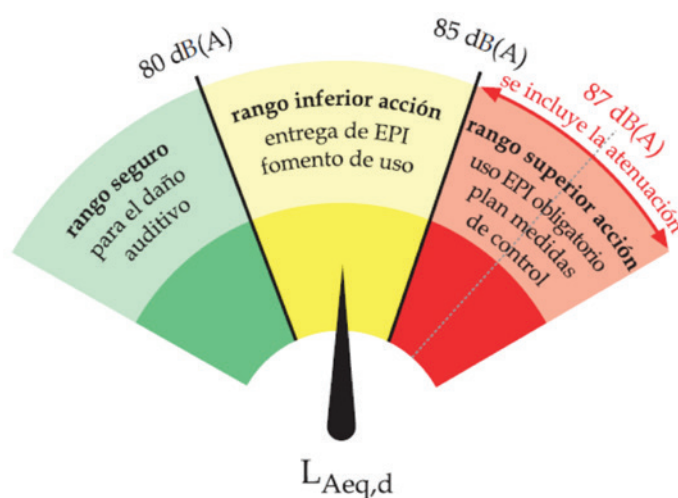
físicas medibles que incluyen variables objetivas, como la amplitud y la frecuencia (INSST, 2023).

Respecto al nivel de ruido de los generadores, los límites máximos fijados oscilan entre 95-98 dB. Los niveles de ruido que superan los 85 dB pueden ser perjudiciales para la audición, por lo que resulta vital entender cómo reducirlos al emplear generadores eléctricos en viviendas, industrias y oficinas (Grupos Bravo Generadores Eléctricos, 2023).

La dificultad en la comunicación oral es otra consecuencia perjudicial, ya que los cambios bruscos en el nivel de sonido dificultan la interacción efectiva entre los trabajadores. Además, la exposición repetida al ruido intermitente se puede asociar con alteraciones auditivas temporales (véase la Figura 1), lo que aumenta el riesgo de pérdida auditiva inducida por ruido a corto plazo (Andino & Sabatier, 2024).

Figura 1

Valores de exposición y niveles de acción



Nota. De Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición al ruido en los lugares de trabajo, por Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, 2022, p. 15 (<https://www.insst.es/documents/94886/2927460/Gu%C3%ADa+t%C3%A9cnica+para+la+evaluaci%C3%B3n+y+prevenci%C3%B3n+de+los+riesgos+relacionados+con+la+exposici%C3%B3n+al+ruido+en+los+lugares+de+trabajo+2022.pdf/491842fd-cdf3-09bc-09b6-acc88279eea4?t=1725623502826>).

En los meses de interrupciones de energía por las sequías, la exposición al ruido de estos generadores era casi inevitable, dado que se empleaban durante extensos periodos para preservar el funcionamiento de electrodomésticos y equipos indispensables. Este ruido incesante no solo impactó sobre la salud auditiva de numerosas personas, sino

que también generó inconvenientes como trastornos del sueño, incremento del estrés y dificultades de concentración, elementos que ponen en riesgo el bienestar global (Quispe Mamani et al., 2021).

Como la crisis energética en Ecuador no se ha solucionado totalmente, es posible que la utilización intensiva de generadores eléctricos vuelva a ocurrir en el futuro. Por esta razón, es vital estar equipados con tácticas efectivas para salvar la salud auditiva de la población y asegurar un ambiente más saludable con el fin de reducir el efecto del ruido producido por estos equipos.

METODOLOGÍA

En este estudio se han analizado las posibles afectaciones ocasionadas por los generadores eléctricos en la salud de los trabajadores cuando realizaron sus labores durante las sequías del 2024. El enfoque investigativo fue direccionado a la ruta cuantitativa porque su naturaleza tiene como objetivo la recolección de datos numéricos para ser procesados y analizados mediante el uso de estadística descriptiva e inferencial, además, porque "la confiabilidad se enfoca en los datos, en el contexto de un método estadístico, desde aquí se observa la importancia del regreso a lo empírico en la vida cotidiana" (Castañeda, 2022, p. 8).

El enfoque de investigación adoptado fue el de trabajo de campo, ya que los datos fueron recolectados *in situ* para obtener mediciones aproximadas en los sectores seleccionados (se mencionan más adelante), donde la fluctuación del nivel de ruido era significativa. En cuanto al nivel o alcance de la investigación, se definió como descriptivo, dado que su propósito es detallar y especificar las características propias de la variable en estudio (Arias-González & Covinos-Gallardo, 2021).

Respecto al contexto, los apagones registrados a nivel nacional afectaron directamente a todas las provincias de Ecuador e impactaron en diversas actividades productivas. Por esta razón, delimitar el estudio resultó pertinente, con el objetivo de obtener datos preliminares y aproximados. En esta investigación, el análisis del ruido se centró en la zona céntrica del cantón Ambato, en la provincia de Tungurahua. Se seleccionó este sector debido a la alta concentración de locales comerciales, los que en su mayoría utilizaban generadores eléctricos como consecuencia de los cortes de energía. Además, la densidad de personas y la congestión vehicular contribuyeron significativamente al incremento de los niveles de ruido.

Se aplicó un muestreo no probabilístico por conveniencia, dado que el investigador tuvo la facultad de seleccionar de manera discrecional la cantidad de elementos a analizar (Hernández-González, 2021). Se definió un total de veintidós locales comerciales de distintas actividades económicas para realizar las mediciones de ruido

correspondientes, en los cuales el uso de generadores eléctricos resultó indispensable para el cumplimiento de sus labores. Esta cantidad de locales constituyó la muestra establecida para la investigación.

Para obtener las mediciones respectivas de los niveles de ruido, se utilizó un sonómetro profesional marca Extech 407730 con las siguientes características, según su ficha técnica (Ecuador GPS, s. f.):

- Precisión ± 2 dB con resolución de 0,1 dB
- Ponderación A y C
- Salida análoga CA
- Registro de valores máximo/mínimo sobre tiempo
- Funciones de apagado automático y retención de máximos
- Utiliza un micrófono condensador de 12,7 mm
- Montable en trípode
- Escala de medición de 40 a 130 dB
- Tiempo de respuesta rápida/lenta
- Completo con 4 baterías AAA
- Pantalla contra viento del micrófono

Luego, se definieron los sectores ubicados en la zona céntrica de la ciudad de Ambato. En este contexto, las mediciones se realizaron en los siguientes sectores: Juan Montalvo, Mercado Modelo, el parque 12 de Noviembre y Teófilo López.

La medición se realizó en diferentes locales comerciales y se abarcó un total de veintidós puntos de medición. En este proceso, se aplicó como procedimiento para la toma de datos el siguiente esquema: en primer lugar, se determinó el lugar posicional de la persona expuesta al ruido; posteriormente, se efectuó la medición con el sonómetro profesional marca Extech 407730 (véase la Figura 2) durante un minuto y a una distancia de 1,5 m entre el generador y el trabajador, y, finalmente, se registraron los niveles de ruido.

En este sentido, la franja horaria en la que se realiza una medición influye significativamente en los resultados. Por ello, las mediciones se realizaron en horarios estratégicos para minimizar la interferencia del ruido ambiental, los periodos considerados fueron de 8:00 a 9:30 horas y de 18:00 a 19:30 horas, durante los días sábado y domingo hasta completar los veintidós puntos de medición, momentos en los que la congestión vehicular, conversaciones humanas, ruido de la naturaleza y ruido de equipos urbanos fueron mínimos.

Figura 2

Medición de ruido



Nota. En la imagen izquierda se muestra el generador eléctrico y en la imagen derecha se muestra el sonómetro utilizado para la medición del ruido.

Luego de la toma de medición de los niveles de ruido, se entrevistó a las personas que participaron con dos preguntas puntuales para conocer algunas sintomatologías y efectos ocasionados por el ruido emitido por los generadores eléctricos. En este sentido, dichas preguntas fueron estructuradas con respuestas politómicas, es decir, se detallaron y explicaron algunos síntomas y afectaciones en el desempeño que posiblemente pueden ocurrir al estar expuesto al ruido durante la jornada de trabajo. Las preguntas planteadas fueron las siguientes:

- a. ¿Qué síntomas ha sufrido debido a la exposición continua al ruido proveniente de los generadores eléctricos?
- b. ¿De qué manera el ruido de los generadores eléctricos influye en su rendimiento cotidiano?

Para la primera pregunta, las opciones de respuesta fueron dolor de cabeza, zumbido en los oídos, pérdida de la audición, fatiga o agotamiento, irritabilidad o ansiedad, dificultad para dormir, ningún síntoma y otros síntomas. Para la segunda, las opciones fueron dificultad para concentrarse, reducción de la productividad laboral, alteraciones en la comunicación, estrés durante las actividades diarias, ninguna afectación y otros efectos.

Con las respuestas recolectadas, se obtuvo un punto de partida para generar recomendaciones sobre las medidas preventivas con el fin de disminuir los síntomas o afectaciones en el desempeño en futuras situaciones en las que se presenten cortes de energía eléctrica debido a estiaje o condiciones climáticas adversas. En particular, estas recomendaciones están dirigidas a aquellas regiones donde la generación de energía eléctrica depende en gran medida de la energía hidráulica.

RESULTADOS

Para realizar un análisis estadístico acorde con los datos recolectados, y recalcando nuevamente que se tomaron los valores máximos de cada medición efectuada, se aplicó un estudio descriptivo con los datos obtenidos de las mediciones sin tomar en consideración la normativa nacional e internacional sobre los niveles máximos permisibles de exposición (véase la Tabla 3).

Tabla 3
Niveles de ruido por cada medición según el sector

Sector	Nivel de ruido (dB)
1	83,4
1	79,7
1	86,2
1	83,8
1	84,5
1	84,1
2	83,3
2	81,9
2	91,6
2	83,2
2	85,7
2	86,8
2	81,2
2	86,4
3	80,7
3	86,9
3	83,1
4	82,6
4	82,3
4	85,7
4	86,5
4	85,2

Nota. Los números de la primera columna hace referencia al sector donde fue realizada la medición. Juan Montalvo (1), Mercado Modelo (2), el parque 12 de Noviembre (3) y Teófilo López (4). La toma de medición tuvo una duración de un minuto.

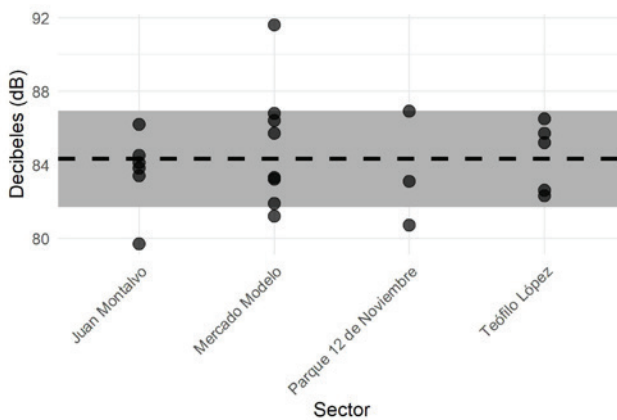
Con los niveles de ruido expresados en la Tabla 3, se calcularon los estadísticos descriptivos, incluyendo la medida de tendencia central (media), la medida de dispersión (desviación estándar) y los extremos (mínimo y máximo) que se encuentran en la Tabla 4. Para realizar todo el análisis estadístico, se utilizó el *software* R.

Tabla 4*Estadísticos descriptivos*

Mínimo (dB)	Máximo (dB)	Media (dB)	Desviación estándar (dB)
79,7	91,6	84,3	2,6

Nota. Los datos fueron procesados utilizando el software R.

En la Figura 3, se puede observar que la concentración de los niveles de ruido se encuentra en un intervalo aproximado de 81,7 a 86,9 dB. Además, si se desea tomar un valor referencial correspondiente a la media de los datos como límite máximo permisible, el 50 % de los casos supera dicho valor. Aunque no se considera una normativa vigente sobre los niveles de ruido en la Figura 3, esto sugiere a grandes rasgos que es necesario tomar acciones preventivas con el fin de evitar problemas auditivos.

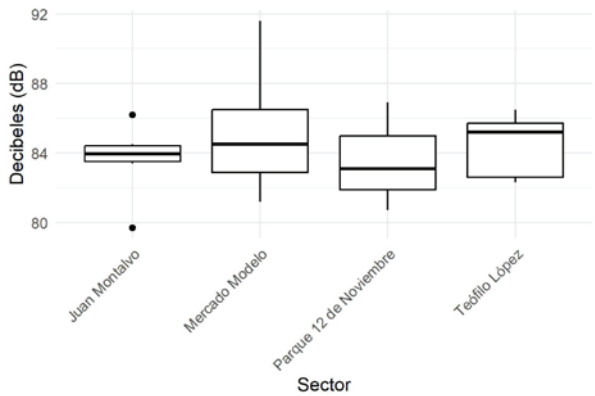
Figura 3*Diagrama de dispersión de decibeles por sector sin considerar normativa legal*

Nota. Los datos fueron procesados utilizando el software R. La línea discontinua representa la media del conjunto de datos. Las franjas grises verticales indican una desviación estándar con respecto a la media. Además, existen mediciones iguales, por tal razón, los puntos de superponen.

En la Figura 4, se puede observar que, de manera general, las cajas presentan una dispersión reducida, lo que indica que no existe mucha variabilidad en los datos. Cabe destacar que se puede verificar, con la mediana (línea horizontal en la parte interna de la caja), que los niveles de ruido en los sectores del Mercado Modelo y Teófilo López son superiores a la media (84,3 dB). Esto sugiere que existen picos de ruido muy altos y, por lo tanto, es muy probable que las afectaciones auditivas sean más significativas en ese sector.

Figura 4

Diagrama de cajas de decibeles por sector

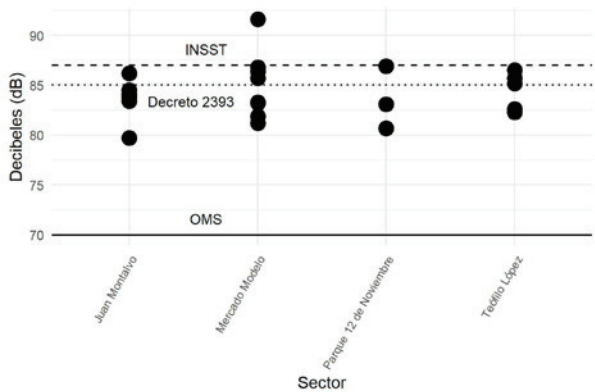


Nota. Los datos fueron procesados utilizando el software R.

Cuando se tratan temas de ruido, como los límites máximos permisibles y el tiempo de exposición, es importante contar con un sustento técnico basado en una norma legal vigente que facilite la toma de decisiones y las posibles medidas de prevención. En consecuencia, la Figura 5 muestra que, en el Mercado Modelo y Teófilo López, el 50 % y 60 % de las mediciones realizadas respectivamente superan el límite de los 85 dB establecidos en el Decreto Ejecutivo 2393, lo que los convierte en los sectores con mayor incidencia. Además, en el sector del Mercado Modelo se registra un nivel de ruido crítico con 91,6 dB, lo que supera el umbral permitido en todas las normativas consideradas en esta investigación.

Figura 5

Diagrama de dispersión de decibeles por sector considerando la normativa legal



Nota. Los datos fueron procesados utilizando el software R. INSST = Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo; OMS = Organización Mundial de la Salud.

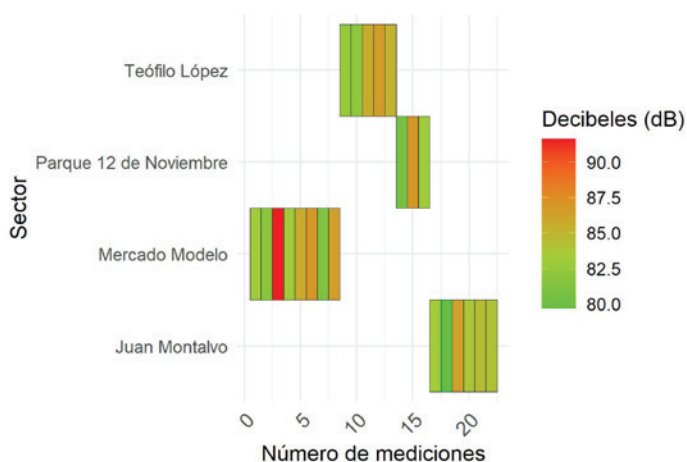
Si se analiza la Figura 5 bajo un criterio estricto, se debe tener en cuenta que el artículo 55 del Decreto Ejecutivo 2393 señala que, si las actividades en un lugar de trabajo requieren tareas intelectuales, regulación, concentración y cálculo, y para que el oído humano tolere y asimile el ruido sin sufrir daños, ya sean temporales o permanentes (Organización Mundial de la Salud, 2022), el nivel de ruido no debe superar los 70 dB.

En tal sentido, algunas mediciones se realizaron en farmacias, donde el trabajo de un farmacéutico requiere de mucha concentración para cumplir con sus actividades, como vender el medicamento correcto con la dosis correcta. Si se generalizara este criterio para todos los locales comerciales que fueron parte de las mediciones respectivas, se hubiera observado que, en todos los casos, se superarían los umbrales permitidos establecidos en el Decreto Ejecutivo 2393 y la OMS. Por ende, no necesariamente se debe esperar a que se alcancen los umbrales máximos; al contrario, se deben tomar acciones preventivas que protejan el bienestar y la salud de los trabajadores.

Con el fin de verificar lo señalado en las figuras 4 y 5, la Figura 6 se basa en un mapa de calor de los niveles de ruido. Claramente, existe una franja (área) de color rojo en el sector del Mercado Modelo que, efectivamente, representa los 91,6 dB. Además, se observan algunas franjas de color naranja en los sectores, lo que induce a pensar que los niveles de ruido están cerca de los umbrales máximos permisibles establecidos en la normativa utilizada para el presente estudio.

Figura 6

Mapa de calor de decibeles por sector

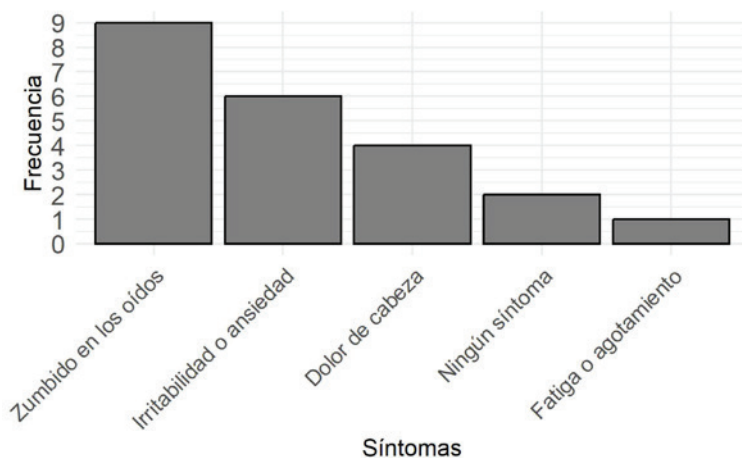


Nota. Los datos fueron procesados utilizando el software R. Los niveles de ruido según los sectores son representados con base en una escala cromática, en la que los tonos más intensos representan niveles de ruido altos y los tonos suaves indican los niveles de ruido bajos.

Con respecto a las preguntas formuladas a las personas que participaron luego de realizar las mediciones de ruido, se obtuvieron algunos resultados que llamaron la atención sobre la sintomatología en las personas. En la Figura 7, el síntoma con mayor incidencia fue el zumbido en los oídos, lo cual, en términos porcentuales, representó el 40,9 % de la muestra establecida. A pesar de que la normativa, tanto internacional como nacional, define niveles de ruido y tiempo de exposición sobre la base de criterios técnicos, estar expuesto al ruido de manera prolongada en un intervalo de tiempo genera algunas consecuencias en la salud de los trabajadores. Por esta razón, es de suma importancia contar con medidas preventivas o un plan de acción en caso de que se repita el uso de los generadores eléctricos cuando existan cortes de energía eléctrica.

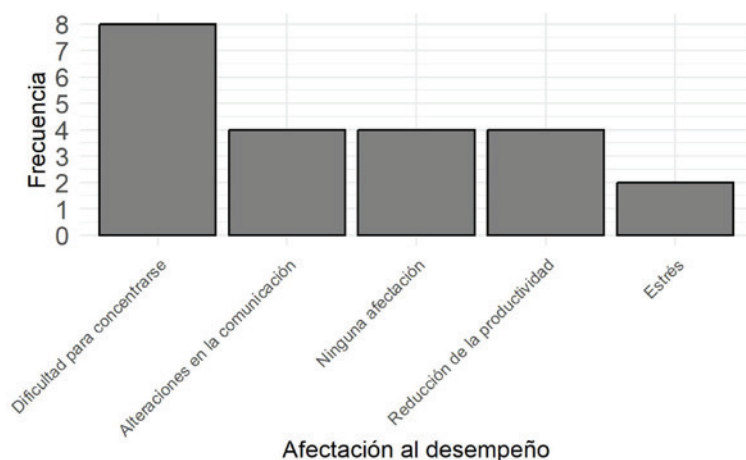
Figura 7

Sintomatología a la exposición del ruido producido por los generadores eléctricos



Nota. Los datos fueron procesados utilizando el software R.

Al estar expuestos al ruido, no necesariamente se afecta la salud física de los trabajadores; sin embargo, indirectamente se generan afectaciones en el desempeño laboral, lo que hace que las actividades no se ejecuten adecuadamente. Por ende, otra pregunta planteada a las personas que participaron en el estudio estuvo relacionada con el desempeño. En la Figura 8, se puede observar que la afectación más significativa fue la dificultad para concentrarse, lo cual, en términos porcentuales, representa el 36,4 % de la muestra establecida. Es coherente que el ruido excesivo genere un malestar general, ya que la concentración está vinculada a la parte psicológica de las personas, lo que influye en las actividades laborales. No obstante, contar con un protocolo sobre pausas activas contribuiría a mejorar la concentración.

Figura 8*Afectación al desempeño laboral producido por los generadores eléctricos*

Nota. Los datos fueron procesados utilizando el software R.

DISCUSIÓN

Los cambios climáticos a nivel mundial han generado afectaciones en el medioambiente, además de impactos económicos y factores sociales. Por otro lado, en los últimos años, el calentamiento global es un problema que los científicos e investigadores han tratado de reducir, pero con soluciones mínimas. Sin embargo, el problema está en la humanidad que carece de concientización sobre la contaminación al medioambiente y que, en varias ocasiones, son provocados por el mismo ser humano.

En Ecuador se han sufrido sequías considerables. Esta situación ha surgido por el incremento de la temperatura, olas de calor extremas que han producido evaporaciones en los ríos y escasas lluvias en las cuatro regiones del país. A nivel general, el país ha sido afectado en varias ocasiones por este tipo de impactos, los cuales recaen en cortes de energía. Esto se debe a que las represas disminuyen su cota de agua significativamente, tomando en cuenta, además, que la energía eléctrica del país se obtiene de centrales hidroeléctricas y térmicas en un alto porcentaje y que el uso de energías renovables es muy escaso (Carrión et al., 2021).

En la ciudad de Ambato, que es considerada una zona comercial y cuya actividad económica es representativa en todo el país, la presencia de industria hace que la ciudad tenga producción de bienes y servicios de todo tipo. Sin embargo, al sufrir los cortes de energía, Ambato y todas las ciudades del país experimentaron impactos en su economía, lo que ha afectado con mayor intensidad a las medianas y pequeñas

empresas, para las cuales fue indispensable adquirir generadores eléctricos con el fin de lograr la reactivación comercial.

En la zona céntrica del país, el uso de los generadores eléctricos ha provocado una contaminación acústica que, junto al ruido producido por el tráfico vehicular y el ruido generado por la comunicación humana, ha producido patologías en la salud y afectaciones en el desempeño de las actividades laborales. De hecho, el transitar por el centro de la ciudad generaba un malestar, sobre todo en la zona auditiva y cefálica. Además, en corto tiempo, se producía irritabilidad en las personas. No obstante, optaban por realizar su actividad de manera rápida para luego retirarse a su domicilio.

El problema con mayor incidencia tuvo lugar entre los trabajadores de los locales comerciales que estaban expuestos a los ruidos mencionados anteriormente durante toda la jornada de trabajo, es decir, ocho horas diarias. En muchos casos, la concentración era muy difícil de mantener, y esto provocaba un desgaste físico y mental. Adicionalmente, el ruido de los generadores eléctricos evitaba que la comunicación con los clientes fuera asertiva. Por otro lado, la duración de los cortes de energía, según la planificación horaria por parte de las empresas eléctricas y su ministerio, variaba de cuatro a catorce horas de corte al día. Cada semana, se manejaba un horario distinto y en franjas horarias diferentes. Como resultado, esto ocasionó que los trabajadores convivieran durante algunos meses con los generadores eléctricos, los cuales se ubicaban en la parte exterior de los locales comerciales.

La exposición prolongada al ruido depende del tipo de trabajo que se realice; no obstante, las normativas del INSST, el Decreto Ejecutivo 2393 y la OMS deberían realizar un análisis según el contexto. En este caso, sería fundamental establecer parámetros sobre los límites máximos permisibles en locales comerciales ubicados en zonas céntricas de una ciudad, donde el ruido ambiental sea considerado un agente directo de afectación. Además, esto cobra mayor relevancia cuando se utilizan generadores eléctricos que, debido a la falta de energía, generan un nivel de ruido adicional al habitual.

La normativa vigente detalla parámetros de niveles de ruido basados en un análisis realizado en empresas dedicadas a la producción de bienes y servicios, donde los criterios son distintos a los que realmente se presentan en los locales comerciales. En este sentido, el INSST y el Decreto Ejecutivo 2393 establecen que, para una jornada de ocho horas, el nivel de ruido debe ser de 87 dB y 85 dB, respectivamente. Sin embargo, aunque la OMS y el Decreto Ejecutivo 2393 indican que, en actividades donde el nivel de concentración es de mayor requerimiento, el ruido no debe exceder los 70 dB. Esta regulación no permite tomar decisiones asertivas o preventivas para minimizar las afectaciones en los trabajadores. Por ello, las autoridades locales deberían generar planes de acción, guías, instructivos y procedimientos que permitan a empleadores y trabajadores estar preparados ante posibles acontecimientos en los que la falta de energía eléctrica obligue a los locales comerciales a utilizar generadores eléctricos.

Es importante mencionar que los locales comerciales ubicados en la zona céntrica de una ciudad desarrollan diferentes actividades económicas. En el caso de la ciudad de Ambato, la gran mayoría de estos establecimientos están direccionados a la venta de productos como farmacias, mercados, artículos tecnológicos y vestimenta, entre otros. En este tipo de locales, la concentración es una variable indispensable. Por ejemplo, en una farmacia, los farmacéuticos requieren un alto nivel de concentración para proporcionar el medicamento adecuado. Por ende, el ruido producido por los generadores eléctricos puede provocar equivocaciones en la dispensación de los medicamentos, lo que podría tener consecuencias significativas para las personas que realizan la compra. Por esta razón, contar con un instructivo o protocolo sería de suma importancia en estos casos, pues los niveles de ruido estarían estandarizados con base en un estudio minucioso. Además, los equipos de protección individual deben ser diseñados para tal fin para garantizar la protección de los trabajadores sin interferir en su comunicación con el entorno.

El implementar medidas preventivas o planes de acción basados en esta experiencia como país es un reto, sobre todo para empresarios, emprendedores o dueños de locales comerciales. Cuando se trata de estudiar el medio ambiente, existen dificultades para pronosticar algún evento que pueda ocurrir en el futuro. Por lo tanto, los expertos ambientalistas, conjuntamente con otros especialistas, deben comunicar al Gobierno central de manera asertiva, mediante una planificación bien estructurada, todo lo relacionado con las probabilidades de que se genere un estiaje cuando ocurra una temporada seca. El objetivo es que la población pueda tomar acciones y, a su vez, contar con un tiempo considerable para analizar los posibles daños tanto en la actividad económica de las empresas como en las posibles afectaciones a los trabajadores.

Una de las alternativas para reducir el impacto que pueden producir los generadores eléctricos en la salud de los trabajadores es utilizar generadores silenciosos o con tecnología de reducción del ruido, ya que esto permite la insonorización del equipo. Si bien la inversión inicial es alta, esta opción puede contribuir significativamente a minimizar las sintomatologías provocadas por la contaminación acústica y, al mismo tiempo, mejorar el ambiente laboral (Pérez Herrera et al., 2023).

En las zonas céntricas, debido a la afluencia de personas y congestión vehicular, es importante implementar dispositivos tecnológicos que permitan monitorear y controlar los niveles de ruido. Esto ayudaría a tener parámetros reales de la contaminación acústica y detectar áreas con mayor impacto acústico mediante mapas de ruido. Este tipo de tecnologías permite tomar decisiones preventivas con énfasis en los trabajadores que permanecen en los locales comerciales expuestos al ruido en su jornada completa de trabajo (Ordóñez Mendieta & Garrochamba, 2020).

CONCLUSIONES

Los cortes de energía eléctrica conllevan a que las actividades comerciales sufran afectaciones a gran escala y pérdidas económicas significativas. Las pequeñas y medianas empresas tuvieron la obligatoriedad de buscar alternativas para evitar que sus locales paralicen la producción y, sobre todo, para no perder la venta de productos. Así, adquirir generadores eléctricos fue la opción más rápida para mantener los locales comerciales en funcionamiento, sin tener en cuenta las posibles consecuencias que pueden ocasionar a los trabajadores. El estudio tuvo la oportunidad de verificar los niveles de ruido en la zona céntrica de la ciudad de Ambato (Ecuador), donde todas las mediciones realizadas sobrepasaron los 70 dB.

Al estar expuestos al ruido excesivo en prolongados intervalos de tiempo, se ha provocado que los trabajadores sufran de zumbidos en el oído, lo que representa un 40,9 % de la muestra. A su vez, se observan alteraciones en la concentración, con un 36,4%, lo que refleja la gravedad del problema. Este tipo de inconvenientes afecta directamente a la salud auditiva, y la dificultad de concentración compromete indirectamente la eficiencia operativa de los locales comerciales.

Es vital salvaguardar la salud auditiva al estar expuesto al ruido desmedido de los generadores eléctricos, ya que esto ayuda a prevenir problemas auditivos tanto a corto como a largo plazo. El uso de protectores de espuma o silicona que reduzcan el ruido del ambiente sin eliminarlo completamente es una alternativa que los trabajadores en los locales comerciales pueden utilizar con la finalidad de atenuar el ruido (Gamero Motta, 2020).

Es importante evitar permanecer en el área más ruidosa durante extensos periodos de tiempo. En lo posible, rotar al personal en una jornada máxima de cuatro horas si los cortes de energía son prolongados por más de ocho horas. En el caso de no ser posible, el uso de barreras acústicas puede ser una ruta de solución que ayude a reducir el nivel de ruido (Carrillo Barahona et al., 2023).

Se recomienda destinar un espacio con un diseño acorde con las características físicas de los generadores eléctricos. En términos técnicos, esto implicaría la construcción de un cuarto de máquinas con la finalidad de atenuar eficazmente el ruido (El Mercurio, 2024). Además, ubicar los generadores eléctricos en áreas adecuadas evitaría afectar la parte exterior de los locales comerciales, lo que podría generar un ruido ambiental significativo para los transeúntes.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

José Fernando Mendoza Rodríguez: redacción, revisión y edición, escritura: borrador y original, *data curation*, análisis formal, metodología, investigación, *software*, administración del proyecto, supervisión, validación, visualización. **Christopher Sebastián Poaquiza Aucatoma:** conceptualización, redacción, revisión y edición, investigación, recursos.

REFERENCIAS

- Andino, F. L., & Sabatier, I. (2024). *Impacto del ruido en la salud de trabajadores hidrocarburíferos: desafíos y oportunidades para la fonoaudiología* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Rosario]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Rosario. <https://hdl.handle.net/2133/27988>
- Arias-González, J. L., & Covinos-Gallardo, M. (2021). *Diseño y metodología de la investigación*. Enfoques Consulting EIRL. https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w26022w/Arias_S2.pdf
- Briones Ortiz, A. K., Lozano Briones, L. L., Cedeño Mendoza, E. D., & Moreira Bustamante, M. E. (2023). Ruido laboral y su relación con la pérdida auditiva en empleados en empresas de salud pública. *Journal of Science and Research: Revista Ciencia e Investigación*, 8(1), 132-138. <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/2986>
- Carrillo Barahona, W. E., Negrete Costales, J. H., Toalombo Vargas, V. M., Estrada Brito, N. A., & Chacón Chacón, P. M. (2023). Control y evaluación estadística de los niveles de ruido de la contaminación sonora en las unidades educativas Don Bosco y María Auxiliadora Macas–Ecuador. *Polo del Conocimiento: Revista Científico-Profesional*, 8(1), 1429-1453. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9284306>
- Carrión, D., Quinteros, J., & Masache, P. (2021). Revisión para la restauración óptima de la operación del sistema eléctrico basado en criterios de calidad de energía y estabilidad. *I+D Tecnológico*, 17(1), 87-95. <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/339/3392002010/index.html>
- Castañeda, M. M. (2022). La científicidad de metodologías cuantitativa, cualitativa y emergentes. *Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria*, 16(1), 1-12. <https://doi.org/10.19083/ridu.2022.1555>
- Decreto Ejecutivo 2393. Por el cual se aprueba el Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo. 17 de noviembre de 1986. Registro Oficial 565. <https://www.epemapar.gob.ec/>

- documentos/2015/MAYO/A/a2/NORMATIVA/DECRETO%20EJECUTIVO%202393.pdf
- Ecuador GPS. (s. f.). *Sonómetro Extech 407730*. <https://ecuadorgps.com/producto/sonometro-extech-407730/>
- El Mercurio. (2024). *Ruido de los generadores: ¿cómo proteger los oídos?* <https://elnuevotiempo.com/ruido-de-los-generadores-como-proteger-los-oidos/>
- Gamero Motta, H. G. (2020). Comparación de los niveles de ruido, normativa y gestión de ruido ambiental en Lima y Callao respecto a otras ciudades de Latinoamérica. *Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente*, (5), 107-142. <https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.202001.004>
- Grupos Bravo Generadores Eléctricos. (2023). *Generador eléctrico genenergy guardian S6-SOL ARR/ELECT 2 hilos monofásico 230 V*. <https://gruposbravo.com/generadores-de-gasolina/47--genenergy-guardian-s6-solar-arrelect-2-hilos.html>
- Hernández-González, O. (2021). Aproximación a los distintos tipos de muestreo no probabilístico que existen. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 37(3). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-21252021000300002&lng=es&tlng=es
- Hernández-Peña, O., Hernández-Montero, G., & López Rodríguez, E. (2019). Ruido y salud. *Revista Cubana de Medicina Militar*, 48(4). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0138-65572019000400019&lng=es&tlng=en
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2006). *Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición al ruido*. <https://www.insst.es/documents/94886/203536/Gu%C3%ADa+t%C3%A9cnica+para+la+evaluaci%C3%B3n+y+prevenci%C3%B3n+de+los+riesgos+relacionados+con+la+exposici%C3%B3n+al+ruido/96a86542-1ac3-42c1-9df2-8c385c67db60>
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2022). *Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición al ruido en los lugares de trabajo*. <https://www.insst.es/documents/94886/2927460/Gu%C3%ADa+t%C3%A9cnica+para+la+evaluaci%C3%B3n+y+prevenci%C3%B3n+de+los+riesgos+relacionados+con+la+exposici%C3%B3n+al+ruido+en+los+lugares+de+trabajo+2022.pdf/491842fd-cdf3-09bc-09b6-acc88279eea4?t=1725623502826>
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2023). *Ruido*. <https://www.insst.es/materias/riesgos/riesgos-fisicos/ruido>

- Landeras-Pilco, M. I. (2023). Ruido ocupacional y su influencia en la siniestralidad y ausentismo laboral en la empresa Tal S. A., Trujillo-Perú, 2021-2022. *Revista Ciencia y Tecnología*, 19(2), 37-52. <https://doi.org/10.17268/rev.cyt.2023.02.03>
- Massa-Palacios, L., Cusi-Palomino, R., & Álvaro-Huillcara, M. (2021). Percepción del ruido ambiental en pobladores de Cercado de Ica, Perú. *Producción + Limpia*, 16(1), 31-47. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552021000100031
- Maya, G., Correa, M., & Gómez, M. (2010). Gestión para la prevención y mitigación del ruido urbano. *Producción + Limpia*, 5(1), 75-94. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552010000100005
- Moreira Mayorga, D. A., & Alfonso Morejón, E. A. (2022). Hipoacusia inducida por ruido ocupacional (revisión de la literatura). *Recimundo*, 6(3), 276-283. [https://doi.org/10.26820/recimundo/6.\(3\).junio.2022.276-283](https://doi.org/10.26820/recimundo/6.(3).junio.2022.276-283)
- Ordóñez Mendieta, A. J., & Garrochamba, A. P. (2020). Diseño de una WSN para el monitoreo de CO2 en el aire y niveles de ruido en la ciudad de Loja. *Maskay*, 10(1), 20-31. <https://doi.org/10.24133/maskay.v10i1.1522>
- Organización Mundial de la Salud. (2022). *La OMS publica una nueva norma para hacer frente a la creciente amenaza de la pérdida auditiva*. <https://www.who.int/es/news/item/02-03-2022-who-releases-new-standard-to-tackle-rising-threat-of-hearing-loss>
- Orozco, M. (2024, 31 de diciembre). 2024: el año en que se fue y regresó la luz. *Primicias*. <https://www.primicias.ec/economia/crisis-electricidad-cortes-luz-resumen2024-86508/#:~:text=Hogares%20ya%20no%20tienen%20cortes,desde%20el%2020%20de%20diciembre>
- Pérez Herrera, A., Baracaldo Alba, H. E., Jauregui Rigo, S. L., & Fariñas Wong, E. Y. (2023). Configuraciones de generadores eléctricos para pequeños aerogeneradores con mínimas condiciones tecnológicas de fabricación. *Ingeniería Energética*, 44(2), 81-93. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012023000200081
- Pintulac. (2024). *Generador dual gasolina-GLP 43753 W. Sesnsor Co2 Champion*. <https://www.pintulac.com.ec/generador-dual-gasolina-glp-43753-co2-champion.html>
- Quispe Mamani, J. C., Roque Guizada, C. E., Rivera Mamani, G. F., Rivera Mamani, F. A., & Romaní Claros, A. (2021). Impacto de la contaminación sonora en la salud de la población de la ciudad de Juliaca, Perú. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(1), 311-337. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i1.228

- Santos Pérez, Y., & Novoa López, A. M. (2020). Actualización acerca del riesgo de pérdida auditiva inducida por ruido en el personal odontológico. *Revista de la Asociación Odontológica Argentina*, 108(2), 80-87. <https://docs.bvsalud.org/biblioref/2020/10/1121640/atualizacion-acerca-del-reisgo-de-perdida-auditiva-inducida.pdf>
- Vásconez, L. (2024). Hogares de Ecuador amanecen sin cortes de luz este 20 de diciembre de 2024. *El Comercio*. <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/hogares-de-ecuador-amanecen-sin-cortes-de-luz-este-20-de-diciembre-de-2024.html>
- Vazques Sanchez, D. J., & Manzano Merchán, F. O. (2023). Determinar los niveles de ruido ocupacional en agentes de tránsito de Cuenca-Ecuador. *Religación*, 8(37). <https://doi.org/10.46652/rgn.v8i37.1089>

**CALIDAD
Y MEDIOAMBIENTE**

Quality and Enviroment

OPTIMIZING AFTER-SALES SERVICES IN THE AUTOMOTIVE MAINTENANCE SECTOR: A LEAN MANUFACTURING AND MRP CASE STUDY IN PERU

PABLO HARBOE-CHAMAN*

<https://orcid.org/0009-0000-8003-9826>

Facultad de Ingeniería, Universidad de Lima, Perú

KENT PHILIPPS-BERROSPÍ

<https://orcid.org/0000-0002-9410-9781>

Facultad de Ingeniería, Universidad de Lima, Perú

JUAN CARLOS QUIROZ-FLORES

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

Facultad de Ingeniería, Universidad de Lima, Perú

Received: January 6, 2025 / Accepted: March 4, 2025

Published: June 10, 2025

<https://doi.org/10.26439/ing.ind2025.n48.7261>

ABSTRACT. This research aims to improve productivity and customer satisfaction in the automotive maintenance sector in Peru, which faces problems such as inefficiency in after-sales services and poor inventory management. The methodology involves the integration of lean manufacturing tools—including 5S, material requirements planning (MRP), standardized work, among others. The implementation of these tools seeks to optimize workspace organization, improve inventory management, and streamline service operations. The main results revealed a 20,37 % reduction in downtime, a decrease in stockouts from 11,81 % to 3,58 %, and a reduction in cycle time from 3 hours and 15 minutes to 1 hour and 36 minutes. These advancements contributed to a significant increase in customer satisfaction, as evidenced in the rise of NPS from

This research received no external funding.

* Corresponding author e-mails: 20180878@aloe.ulima.edu.pe, 20181457@aloe.ulima.edu.pe, jcquiroz@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).

46 % to 79 %. Exploring the use of digital technologies such as IoT and AI is suggested to achieve further improvements.

KEYWORDS: after-sales service / inventory management / standardized work / efficiency optimization / lean manufacturing

OPTIMIZACIÓN DE LOS SERVICIOS POSTVENTA EN EL SECTOR DEL MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ: UN ESTUDIO DE CASO DE *LEAN MANUFACTURING* Y MRP EN PERÚ

RESUMEN. El objetivo de esta investigación es mejorar la productividad y la satisfacción del cliente en el sector del mantenimiento de automóviles en Perú, que se enfrenta a problemas como la ineficiencia en los servicios posventa y la mala gestión de los inventarios. La metodología incluye la integración de herramientas de *lean manufacturing*, por ejemplo 5S, *material requirements planning*, procesos de trabajo estandarizados, entre otros. La implementación de estas herramientas busca optimizar la organización del espacio de trabajo, mejorar la gestión de inventarios y agilizar las operaciones de servicio. Los principales resultados fueron una reducción del 20,37% del tiempo de inactividad, una disminución de las roturas de *stock* del 11,81% al 3,58% y una reducción del tiempo de ciclo de 3 horas y 15 minutos a 1 hora y 36 minutos. Estos avances contribuyeron a un aumento significativo de la satisfacción del cliente, reflejado en un incremento del NPS del 46% al 79%. Se sugiere explorar el uso de tecnologías digitales como IoT e IA para seguir mejorando.

PALABRAS CLAVE: servicio posventa / gestión de inventarios / trabajo estandarizado / optimización de la eficiencia / *lean manufacturing*

INTRODUCTION

In the competitive automotive sector, customer satisfaction—as reflected by after-sales service—is a key differentiating factor. For this reason, companies pursue to increase their value through after-sales service quality and evaluate it through established indicators (Oriundo Ayala, 2019). The company analyzed in this study reported a net promoter score (NPS) for its vehicle maintenance service that fell short of its goal, which is set at 80 %. The gap highlights the possibilities of increasing operational efficiency and customers' perceived service quality.

This research presents a broader picture that encompasses both qualitative and quantitative aspects, aiming to improve delivery times and increase customer satisfaction. This aligns with the company's continuous pursuit of improvement and innovation (Abad Alburqueque, 2018; Kochańska & Burduk, 2023). The methodology involves the application of lean manufacturing (LM), material requirements planning (MRP), and standardized work (SW) tools to improve the efficiency of maintenance processes and evidence their positive impact on the NPS. This study is expected to contribute to scientific knowledge in supply chain management in the automotive industry, serving as a guide for other companies seeking to improve their service level and foster customer loyalty. In summary, it seeks to demonstrate that the joint application of LM and MRP in after-sales service can lead to significant service improvements, which will translate into a higher NPS and, ultimately, greater business success.

Rationale

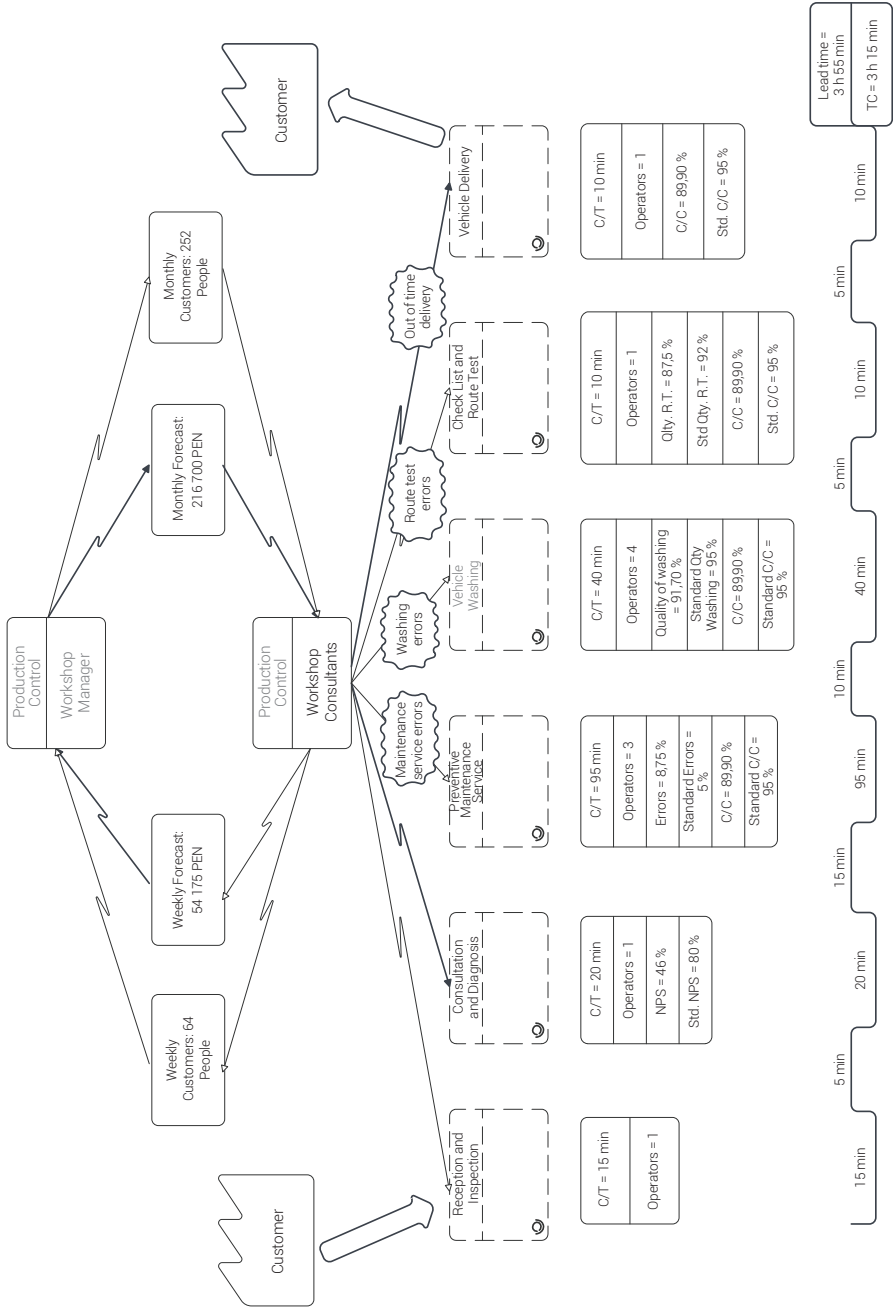
Globally, most industries prioritize product improvements, leaving aside service quality (Oriundo Ayala, 2019). In this scenario, we have identified gaps in the service stations of automotive companies, concerning downtime in the after-sales process, which does not add extra value to their service. The reviewed literature highlight a key issue: the low service level provided by Peruvian car dealerships. One article identified the Peruvian automotive sector as facing emerging problems in the supply chain, emphasizing the sector's significant social and economic impact on Peru's gross domestic product (GDP): in June 2022, the regional economy experienced a growth of 3,44 %, one of the highest peaks in the period (Industria automotriz creció 4,82 % en 2022, ¿qué se espera para este año?, 2023; Pereira et al., 2016). Many organizations within the sector perceive problems in meeting a balance between cost efficiency and excessive downtime within the plant, which significantly influences customers' perceived service quality (Morocho & Armas, 2017; Villarreal Samaniego et al., 2022). According to the reviewed literature, many studies seek to provide quality in operations, overlooking efficiency. While they focus on customer experience and marketing, they should provide an action plan against untimely deliveries in order to increase effectiveness (Caparachín Flores & Santa Cruz Tineo, 2019; Gstalter et al., 2020).

Another article suggests that poor operations management is reflected in the accumulation of downtime within service management, highlighting the need to reduce it in order to boost productivity and increase competitiveness (Sánchez Villegas, 2019). In this context, the company under study should improve efficiency and effectiveness, optimize processes, and reduce downtime (Alvarez Flores & Alvites Cruz, 2018; Brkljac et al., 2023; Frohn-Sörensen et al., 2021). To address these problems, the implementation of the Lean methodology is proposed (Mohapatra et al., 2021). The first step involved applying the 5S tool to organize, classify, and eliminate elements that hinder the operators' work within the service area. Subsequently, time-tracking recording identified the warehouse activity with the highest downtime, leading to the proposal to implement the MRP tool to optimize operational efficiency. Finally, after the implementation of these two tools, it was suggested to establish a standardized workflow to integrate the improvements and ensure a proper record. This was achieved with the help of the SW tool.

Problem diagnosis

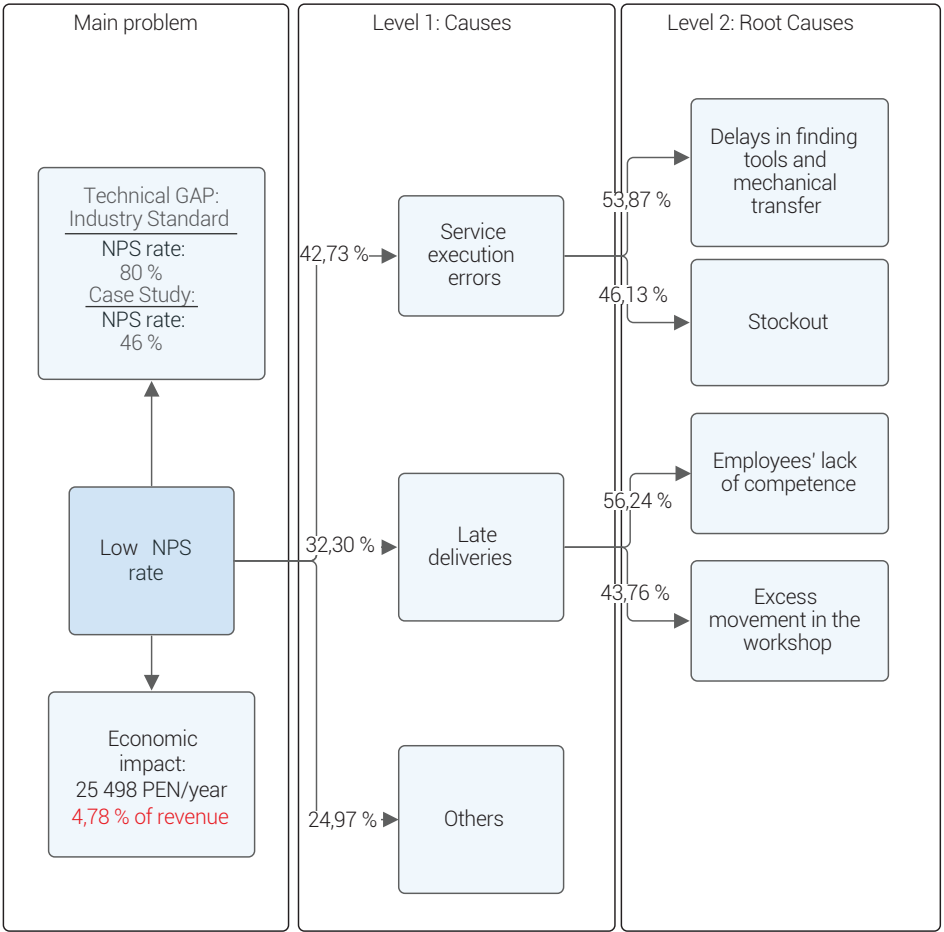
According to the analysis of the automotive sector, the standard NPS is set at 80 %, largely due to the implementation of good practices within operational processes. Therefore, this standard was used as a reference in the study to evaluate whether the improvement initiative could contribute to increasing the current key performance indicator (KPI) (Arhuis Aponte & Campos Veliz, 2016). In this context, the NPS was established as a key customer-centric performance indicator. Historical data collected up to August 2023 reported an NPS of 45,91 %, which aligned with the company's estimated projection for that year. However, an analysis of the monthly trend revealed an average NPS of 45,25 % during the first eight months of 2024—a figure that is below the industry benchmark. To deepen our study, we used a value stream mapping, which helped design a root cause analysis diagram to identify areas for improvement within the maintenance operations system (Figure 1).

Figure 1
Value Stream Mapping



The diagnosis of the after-sales service in the automotive company reveals a multifactorial problem that directly affects customer satisfaction and, therefore, the NPS. The main deficiency identified is the lack of process standardization, which results in low productivity and a subsequent reduction in customers' perceived service level. Additionally, weak warehouse management, specifically in the process of selecting and delivering slow-moving spare parts, exacerbates the situation due to a lack of order and structure, which hinders control and efficiency. Furthermore, delays in maintenance services caused by the shortage of high-turnover spare parts, together with the aforementioned problems, undermine customer confidence and negatively affect customer retention. Figure 2 presents a problem tree that summarizes these issues.

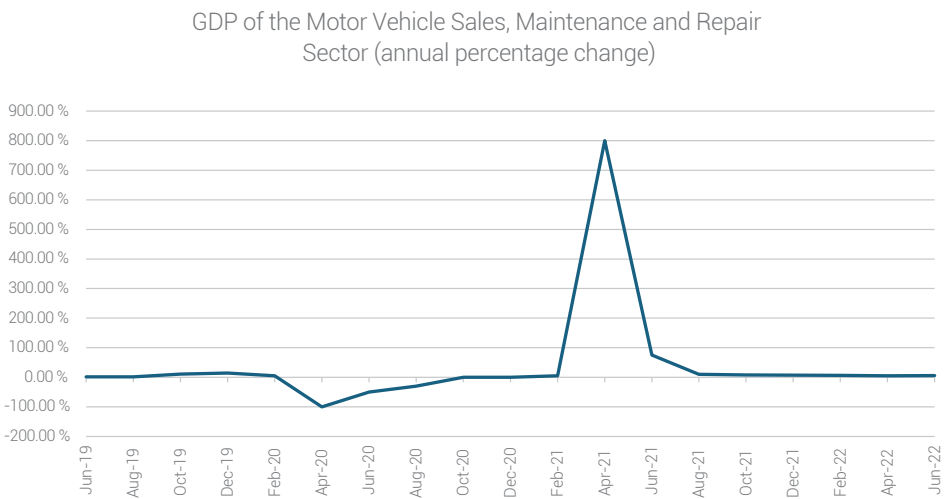
Figure 2
Problem Tree



BACKGROUND INFORMATION

Due to its significant social and economic impact, the automotive industry has become a fundamental pillar of modern economy in Peru. In June 2022, the region's economy grew by 3,44 % compared to the same month the previous year, exceeding the 2,28 % growth recorded in May and the market expectations of 2,5 %. Figure 3 shows more details of this achievement and highlights the country's economic development (Industria automotriz creció 4,82% en 2022, ¿qué se espera para este año?, 2023).

Figure 3
GDP of the Motor Vehicle Sales, Maintenance and Repair Sector

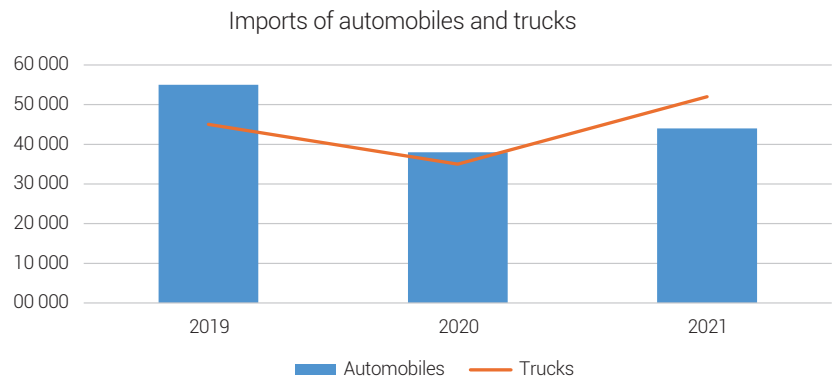


Note. From *Sector automotor avanza 4,41% en julio de 2022*, by Asociación Automotriz del Perú, 2022 (<https://aap.org.pe/inei-sector-automotor-crece-4-41-julio-2022/>).

As a result of the pandemic, the country's automotive industry had a significant impact. In 2020, imports of automobiles and pickup trucks fell by 40 % and 27 %, respectively, according to data from the Asociación Automotriz del Perú (Peruvian Automotive Association, APP). However, the economic recovery in 2021 had a positive impact on the sector, with car imports rising by 26 % and pickup truck imports by an impressive 66 % (Villarreal Samaniego et al., 2022) (Figure 4).

Figure 4

Imports of Automobiles and Pickup Trucks

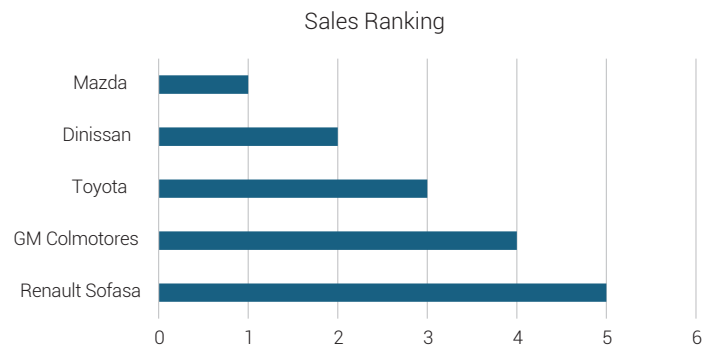


Note. From *El sector automotriz en Perú se recuperó en 2021*, by C. Posada Ugaz, 2022, La Cámara (<https://lacamara.pe/el-sector-automotriz-en-peru-se-recupero-en-2021/?print=print>).

According to the article “Industria automotriz creció 4,82 % en 2022, ¿qué se espera para este año?” (2023), the automotive sector has been affected by the growth of the industry, driven by the emergence of new technologies, improvements in service delivery, and the increasing use of digital tools in operational decision-making. The annual report of the Asociación Nacional de Movilidad Sostenible (Colombian Association of Sustainable Mobility, Andemos) indicates that Colombia's automotive market grew by 2,7 % compared to the previous year, with a total of 263 684 vehicles registered. Figure 5 provides an overview of the sales ranking in the sector.

Figure 5

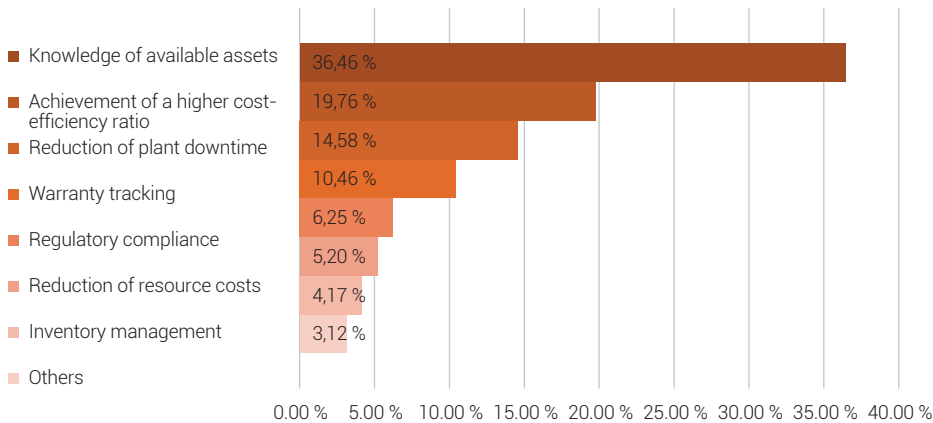
Economic Sheet



Note. From *La industria automotriz registró utilidades por \$ 785 400 millones durante 2019*, by M. A. Ruiz-Rico, 2020, *La República* (<https://www.larepublica.co/especiales/las-1-000-empresas-mas-grandes-de-2018/la-industria-automotriz-registro-utilidades-por-785-400-millones-durante-2019-3041372>).

Regarding operations, service level provided by a company often plays a key role in customer retention, and this is evident in the operations management of preventive vehicle maintenance. Deciding the appropriate frequency of such maintenance is crucial because the fleet's service level is expected to remain optimal if the manufacturer's maintenance recommendations are followed. Scheduled maintenance—which is based on mileage, hours of use, or elapsed time—is the most commonly used approach (Chávez Medina et al., 2020). Occasionally, establishing these parameters can sometimes pose problems. Therefore, it is essential to understand the vehicle's operating conditions in order to identify which factors will determine maintenance needs. Figure 6 illustrates the day-to-day maintenance management issues related to these challenges.

Figure 6
Day-to-Day Maintenance Management Issues (%)



Note. From *Mantenimiento preventivo de vehículos*, by D. Bozzano, n.d., Evaluando Software (<https://www.evaluandosoftware.com/bpm/mantenimiento-preventivo-vehiculos/>).

To address these problems, companies within the automotive sector have explored various improvement proposals. One main areas evaluated and studied within the global automotive industry process chain is the preventive maintenance service. For this reason, many companies choose to assess the performance and customer recurrence rate. This approach improves operational efficiency, as customer satisfaction is reflected in the acceptance of the product or service. Therefore, the addition of best business practices, efficient planning, and good resource management are critical factors to measure efficiency and effectiveness, reducing unnecessary transfers and organizing the service structure (Sánchez Villegas, 2019).

With this objective in mind, a literature review was conducted to identify the main management issues in automotive companies or similar business sectors. First,

automotive dealerships in Peru with after-sales absorption rates above 80 % are more likely to survive during periods of low sales (Arhuis Aponte & Campos Veliz, 2016). Second, productivity is directly related to technician performance, which is why most dealerships consider a productivity range of 110 % to 150 % to be optimal for evaluating mechanic productivity (Amasifén Pimentel et al., 2022). Finally, the utilization percentage—the ratio between the time a technician spends on maintenance and the total time spent in the workshop—should be optimized to avoid unnecessary costs. Efficient dealerships aim for a utilization percentage ranging from 85 % to 95 % (TOP 3 Key Performance Indicators for Car Dealer Aftersales Departments, n.d.).

METHODOLOGY

This research was conducted using a detailed analysis of several key articles from national and international sources, collecting both qualitative and quantitative information to strengthen the methodological framework. The project was organized into three stages, each involving the application of specific techniques. The first stage focused on the implementation of LM through the 5S methodology, aiming to optimize workspace organization and efficiency, thereby contributing to the reduction of unnecessary downtime. In the second stage, the MRP system was introduced to reduce downtime and guarantee the availability of tools and spare parts required for delivering efficient maintenance services (Agrawal et al., 2010). In the final stage, the concept of SW was implemented, enabling the integration of all the methodologies in a standardized worksheet, simplifying the operational standardization, and guaranteeing compliance with service delivery times. In addition, instruments such as structured questionnaires, in-depth interviews, and the identification of detractors and promoters through social networks were used, allowing for a comprehensive understanding of customers' perception. This methodological approach places a strong emphasis on the organization's operational efficiency and effectiveness, with a continuous focus on improvement.

First, the 5S methodology was introduced to optimize the workspace, as disorganization hindered maintenance service management. As noted before, many inefficiencies arose from delays caused by disorganization in the workspace (Bernardo-Saavedra et al., 2023). To address this, all aspects were considered, including the correct classification and segmentation of unnecessary elements, as well as the proposal of a standardized cleaning process. This was done through established procedures that helped operators in performing their tasks correctly. Maintaining clean workspaces and being able to identify all types of waste are essential (Villanueva Arrieta, 2018). Therefore, the 5S methodology plays a crucial role in ensuring order and adequately organizing the workspace for greater efficiency.

Second, one of the activities—specifically, the trip to the warehouse—is experiencing delays due to the unavailability of many low-volume spare parts or a lack of inventory. A table was prepared to detail the materials planning process. This enables the establishment of an appropriate safety stock, as the company under study currently lacks one. The application of the MRP technique facilitated the development of an effective supply plan, allowing the company to maintain better control over its inventory and meet its established requirements (Chavez Medina et al., 2020). Moreover, it will help to be prepared for industry-related uncertainties (Jajam & Challa, 2023). This tool contributes to better management of inventory levels and supply plans by considering policies, bill of materials, and production capacities. As a result, it ensures that the necessary quantities are available in the right time, thus meeting the established requirements (Gonzales-León et al., 2023).

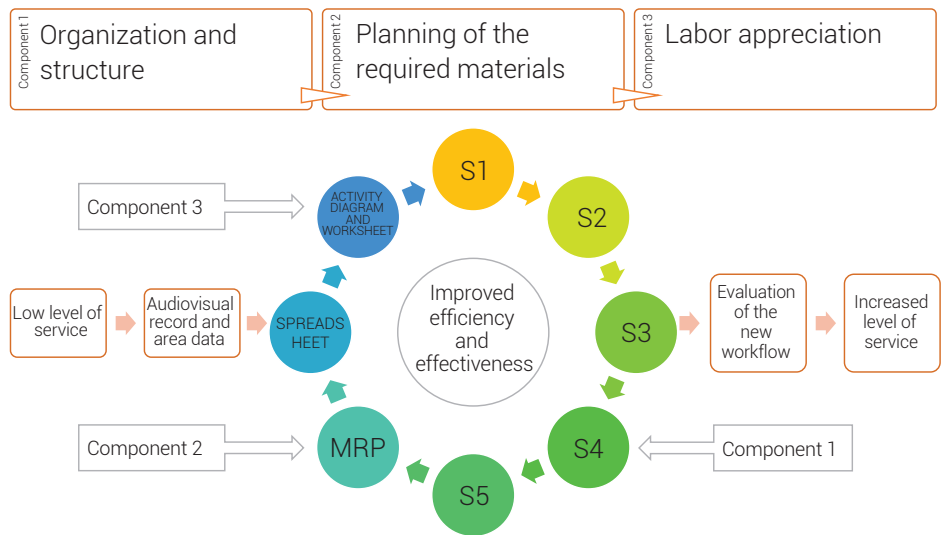
Finally, once the correct organizational execution is implemented, the necessary inventory is in place, and previous inconsistencies within the maintenance service are reduced, the operator will be required to perform fewer tasks in the workspaces, thereby optimizing process efficiency. To support this, a SW technique was designed based on established instructions and norms; the SW tool was used for this purpose (Coronel-Vasquez et al., 2022; Fuentes & Rojas, 2018).

In addition, a spaghetti diagram was created to provide a macro-level visualization of the routes within the maintenance service, helping to shorten unnecessary transfers. The operators received training and instructions on the procedures for each activity, and an evaluation schedule was developed to assess their effectiveness and competence.

To improve the efficiency of maintenance service management, the global model uses the three previously discussed methodologies. While each work effectively on its own, their combined use offers a distinct advantage by introducing a new approach. When applied together, they provide new alternatives for improvement and a wider scope of application.

The 5S methodology focuses on providing an optimal space for workstations. Similarly, SW groups tasks to identify and eliminate unnecessary processes. Given that this is a maintenance service, it also requires the timely availability of essential materials. This is where MRP plays a crucial role since it systematizes resource requirements for the after-sales service. Figure 7 provides a summary of these steps.

Figure 7
Proposed Model Workflow



RESULTS

The study indicators include transfer rate, stockout rate, lead time, and cycle time. The current transfer rate is 60,37 %, with an expected reduction to 40 % in the target situation, representing an improvement of 20,37 %. The current stockout rate is 11,81 %, with an expected reduction to 10 %, showing an improvement of 1,81 %. The current lead time is 235 minutes, with an expected reduction to 195 minutes, equating to an improvement of 17,03 %. Finally, the current cycle time is 195 minutes, with an expected reduction to 165 minutes, indicating an improvement of 15,39 %. These projected results highlight the anticipated effectiveness of the implemented Lean tools in optimizing operational efficiency and improving inventory and process management in after-sales service.

Table 1
Comparative Table of Indicators

Indicators	As-Is	To-be	Improvement
Transfer rate (%)	60,37 %	40 %	20,37 %
Stockout rate (%)	11,81 %	10 %	1,81 %
Lead time (min)	235	195	-17,03 %
Cycle time (min)	195	165	-15,39 %

The objective of the diagnosis was to break down the main root problem: a low NPS of 46 %, which is significantly below the industry standard of 80 % and translates into an annual economic impact of 25 498 PEN, equivalent to 4,78 % of total revenues. Two primary causes were identified at the first level: service execution errors, contributing 42,73 %, and late deliveries, accounting for 32,30 %, while other factors made up the remaining 24,97 %.

At the second level, service execution errors were further broken down into four root causes: delays in locating tools and performing mechanical transfers (53,87 %), stockouts (46,13 %), employees' lack of competence (56,24 %), and excessive transfers within the workshop (43,76 %). These root causes help explain the operational and management issues that led to low customer satisfaction, as evidenced in the NPS. The detailed analysis allowed identifying critical areas for intervention and improvement within the automotive workshop's service operations.

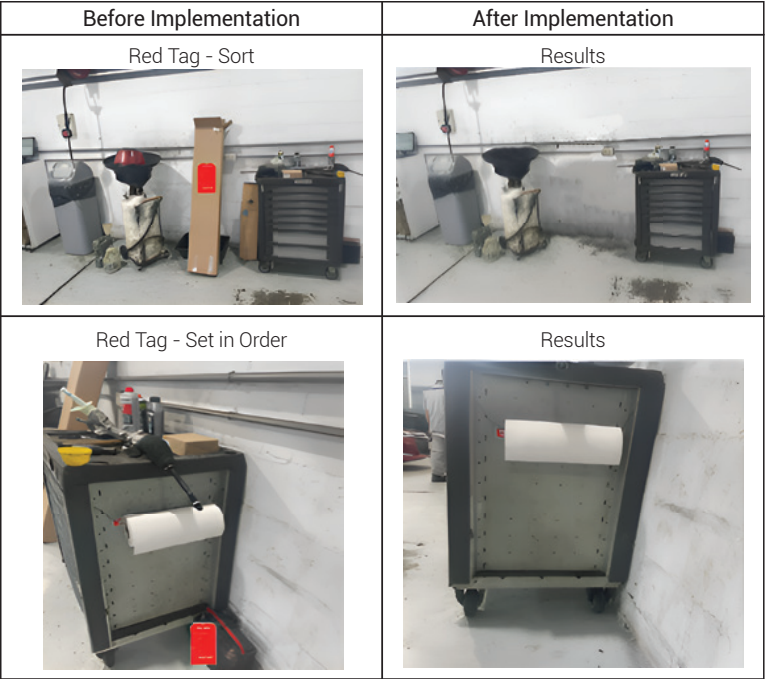
To validate the proposed model, a six-month pilot was conducted, with the first tool implemented being the 5S methodology, as shown in Figure 8, the initial stage of the 5S methodology—specifically the sorting phase—is illustrated, where red tags are used to identify the materials, equipment, and tools needed for the process. Items that are not required are relocated to more suitable areas, thereby decluttering the workstations and fulfilling the objective of the 5S methodology.

In the first row, the images depict the workspace before and after the implementation. The "Red Tag – Sort" image shows the initial state, with unnecessary items tagged for removal. The "Results" image shows the cleared workspace after these items have been removed, resulting in a more organized area.

In the second row, the "Red Tag – Set in Order" image depicts equipment tagged for relocation. The "Results" image shows the workspace after the necessary items have been repositioned, leading to a more efficient and organized environment. This process helps achieve the 5S goal of maintaining an well-organized and efficient workspace.

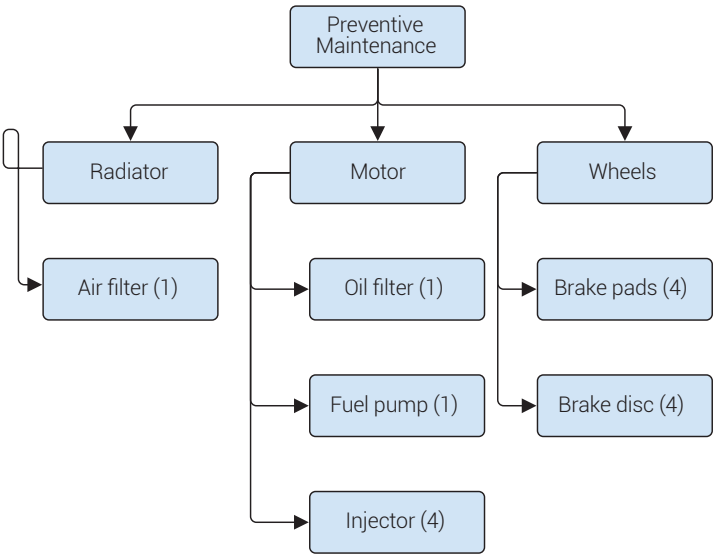
Figure 8

Red Tagging



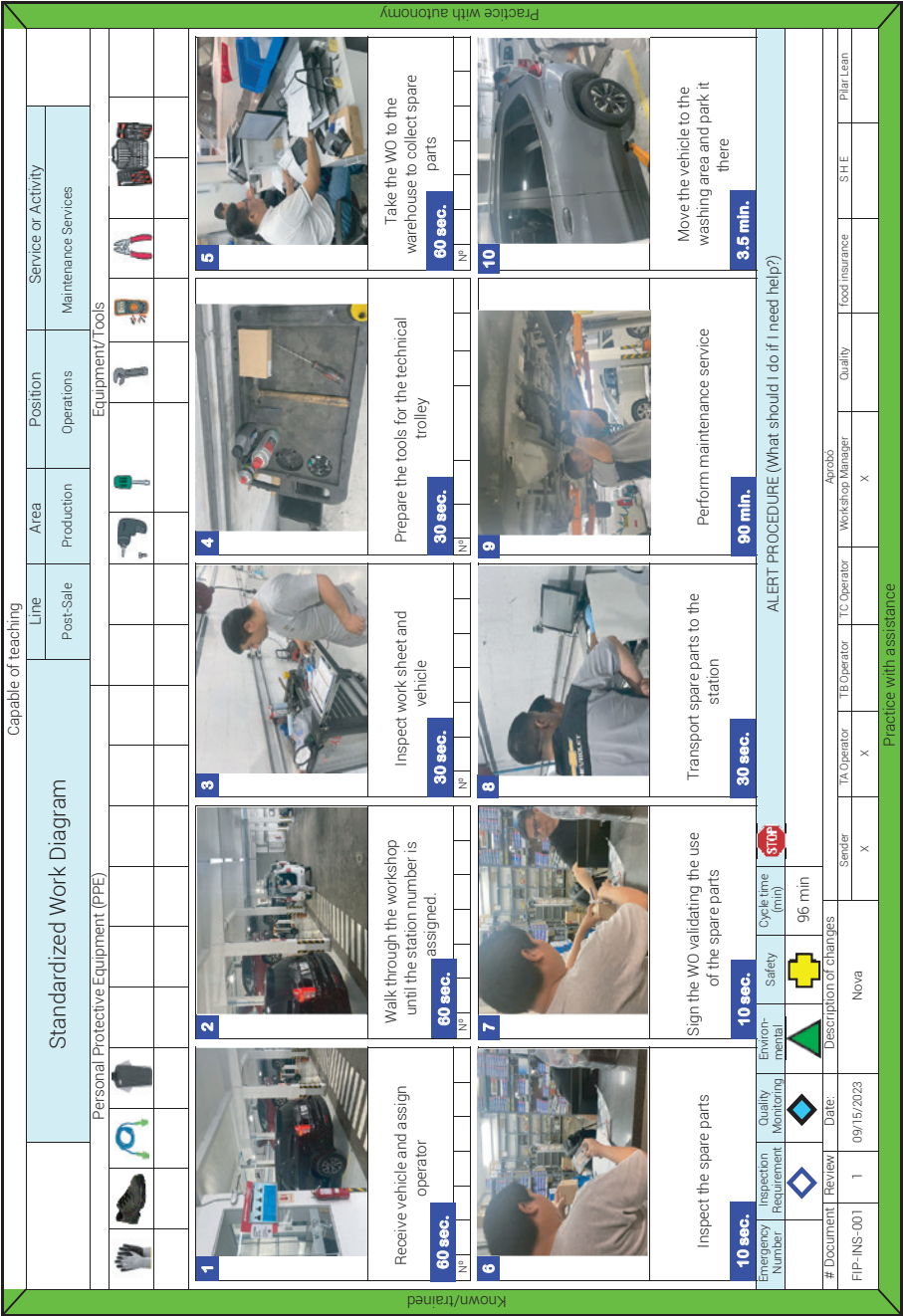
The following diagram (Figure 9) helps standardize and ensure the appropriate quantity of spare parts and materials required for the maintenance service, thus achieving better inventory control and projection. It details the components necessary for preventive maintenance, organized into three main categories: radiator, motor, and wheels. This scheme ensures that the required materials and spare parts are available in the desired quantities and on time, improving the efficiency and effectiveness of the automotive maintenance service.

Figure 9
Gozinto Diagram for MRP



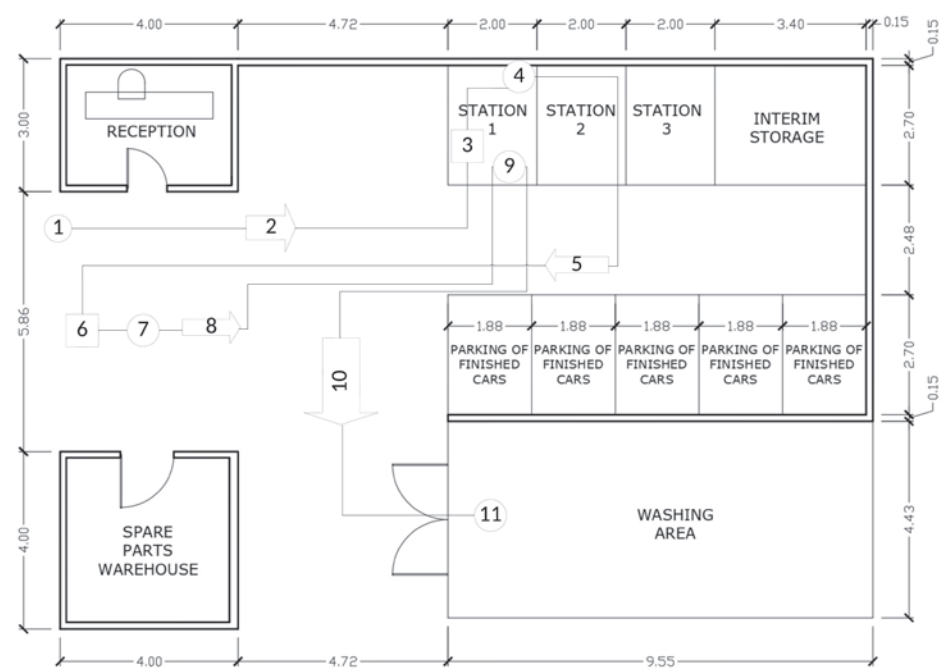
Next, after reducing times throughout the entire service chain, the SW component of the Lean tool was implemented to create an optimal workflow. This was achieved through a standardized worksheet that establishes the best method for service execution, resulting in enhanced flow, greater efficiency, and improved service quality. Figure 10 shows the SW diagram for the automotive maintenance service. This diagram outlines each step of the process, from vehicle reception to final delivery, including the inspection of the worksheet, tool preparation, transportation of work orders (WO) and spare parts, and maintenance service execution. Each step is meticulously timed to optimize efficiency and ensure effective task completion. Additionally, the required personal protective equipment (PPE) and necessary tools for each task are specified. By standardizing the work process, minimizing wait times, and ensuring that personnel follow uniform procedures, this diagram significantly improves the quality and efficiency of the maintenance service.

Figure 10
SW Diagram



Finally, an updated process flow diagram was presented, incorporating the improvements carried out during the six-month pilot. This diagram demonstrated a significant change in service time. Following the introduction of the proposed tools, a simulation was conducted using Arena Simulation Software 16 to confirm long-term improvements by comparing the initial KPIs with those currently in place in the company. Figure 11 shows the updated process flow diagram for the automotive maintenance service. This diagram highlights the optimization of the workflow, from vehicle reception to final delivery, emphasizing the reduction of idle times and efficient organization of the process. The implementation of these improvements has resulted in a notable reduction in service times and an increase in customer satisfaction, as confirmed through the simulations and analyses performed.

Figure 11
Process Flow Diagram

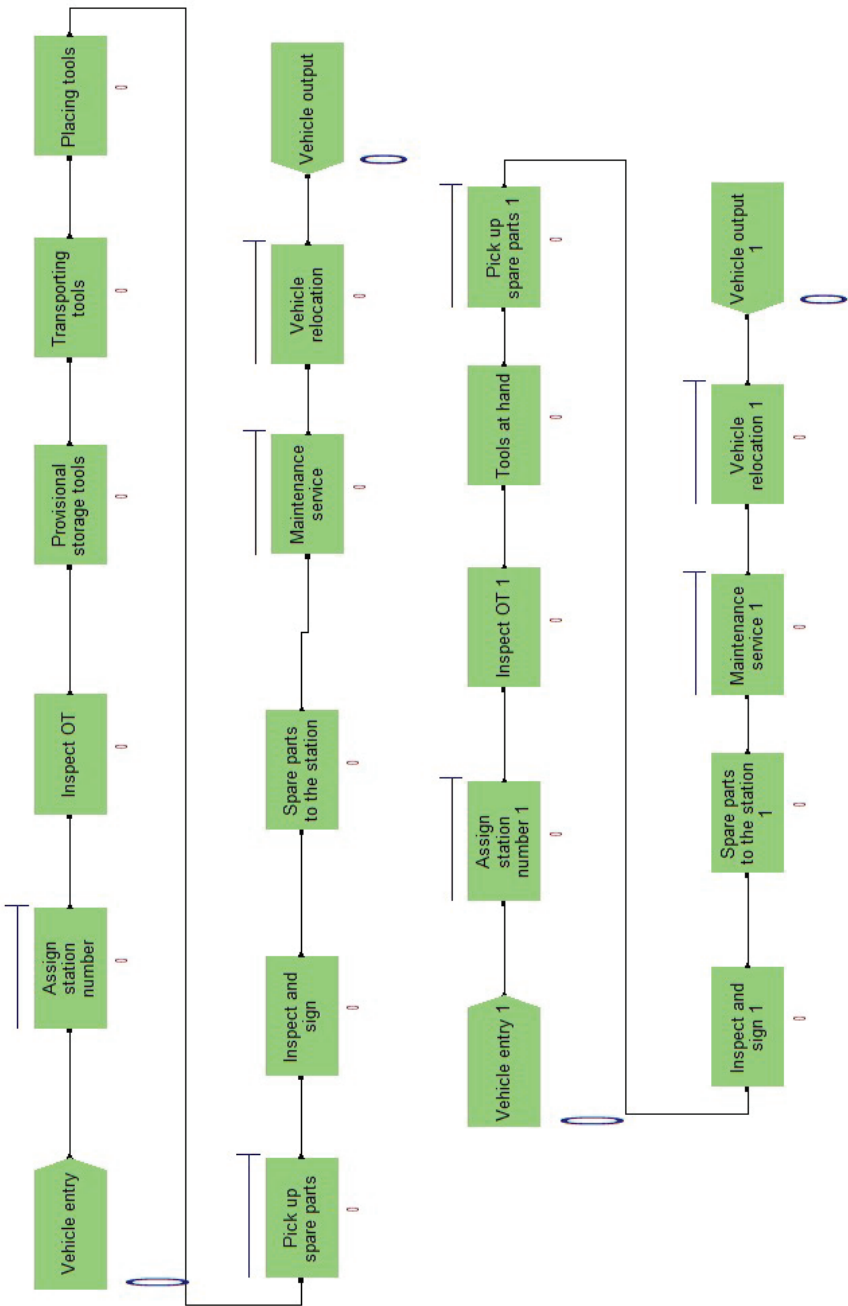


To correctly validate the proposed model, three simulations were conducted using Arena Simulation Software 16 (Figure 12). Each simulation was carried out within an eight-hour work shift, with times provided by the company. The process was modeled with a "set," as the maintenance process involves three operators working at the same time, in order to determine if the times decreased.

The design of the simulations varies minimally between them. First, the simulation for the 5S methodology outlined the complete maintenance service process, obtaining lower data compared to the current situation, with a total process time of 2 hours and 42 minutes—an improvement over the existing indicators. Second, the simulation for the MRP focused on reducing idle times. Given that the design remained the same as the previous one, the total time increased by 10 minutes. Finally, for the SW, a process elimination was performed after a comprehensive analysis revealed that certain processes hindered the operators' ability to perform their work effectively. In this simulation, the focus was on the percentage of utilization for each operator, as this shows the time required to perform other activities. Utilization rates of 98 %, 96 %, and 94 % were achieved for each of the three operators, respectively.

Finally, all simulations showed a significant reduction in both the cycle time and lead time.

Figure 12
Proposed Model Using the Arena Simulation Software



The transfer rate decreased from 60,37 % to 39,60 %, representing a variation of 34,40 %. The stockout rate showed a significant decline, dropping from 11,81 % to 3,58 %, a variation of -69,69 %. Lead time notably fell from 235 minutes to 153 minutes, a variation of -34,89 %. Similarly, cycle time reduced from 195 minutes to 96 minutes, reflecting a variation of -50,77 %. These results underscore the effectiveness of the proposed model in enhancing operational efficiency and shortening service times (Table 2).

Table 2
Current vs. Improved Situation

Indicators	Current	Improved	Variation (%)
Transfer rate (%)	60,37 %	39,60 %	-34,40 %
Stockout rate (%)	11,81 %	3,58 %	-69,69 %
Lead time (min)	235	153	-34,89 %
Cycle time (min)	195	96	-50,77 %

DISCUSSION

The implementation of LM tools—specifically 5S, MRP, and SW—has proven effective in optimizing after-sales service within the automotive maintenance industry in Peru. The 5S methodology, in particular, has allowed for the organization and optimization of workspaces, significantly reducing downtime. According to Veres et al. (2018), this methodology not only improves operational efficiency but also contributes to a cleaner and more orderly work environment. This finding is consistent with previous studies that highlight the importance of 5S in enhancing productivity and customer satisfaction (Villarreal Samaniego et al., 2022). MRP has improved the management of material and spare part supplies, reducing stockouts. This is critical, as the lack of timely availability of materials can cause significant service delays, as observed by Guillaume et al. (2017). Additionally, the implementation of SW has optimized service processes, reduced cycle times, and increased operational efficiency. Kawakami-Arevalo et al. (2023) emphasize that SW not only boosts efficiency but also facilitates employee training, which is essential for maintaining high service quality.

The results of this study show a significant improvement in customer satisfaction, as measured through the NPS, which increased from 46 % to 79 %. This confirms the effectiveness of Lean tools in enhancing both the customer experience and operational efficiency, aligning with previous studies that highlight the positive relationship between Lean implementation and customer satisfaction (Collado Carbajal & Rivera Raffo, 2018).

The integration of digital technologies, such as the Internet of Things (IoT) and Artificial Intelligence (AI), could further enhance these results by providing greater

precision and efficiency in maintenance management (Mohapatra et al., 2021). These technologies have the potential to offer advanced solutions for real-time monitoring and data analysis, thereby enabling more informed and timely decision-making.

In summary, this study not only confirms the effectiveness of Lean tools in optimizing after-sales service within the automotive industry but also highlights the importance of integrating digital technologies to address future challenges. It is suggested that future research explore the application of IoT and AI in other industrial sectors to assess their effectiveness and adaptability in different operational contexts. The combination of Lean methodologies with advanced technologies has the potential to significantly transform the efficiency and quality of service, not only in the automotive industry but also in other sectors.

CONCLUSIONS

The main findings of the study reveal that the implementation of Lean tools—specifically 5S, MRP, and SW—resulted in significant improvements in the after-sales service of an automotive maintenance company in Peru. The application of the 5S methodology allowed for the organization and optimization of workspaces, reducing downtime by 20,37 %. The implementation of MRP improved the management of material and spare part supplies, decreasing stockouts from 11,81 % to 3,58 %. Finally, SW improved process efficiency by reducing cycle time from 3 hours and 15 minutes to 1 hour and 36 minutes.

These results show an improvement in customer satisfaction, as evidenced by an increase in the NPS from 46 % to 79 %. This research is particularly important due to the growing need to optimize after-sales services in the automotive industry, a sector that plays a significant role in the Peruvian economy. The implementation of Lean methodologies not only improves operational efficiency but also increases customer satisfaction, which is crucial for customer retention and market competitiveness. Additionally, the study offers a replicable model that other companies in the sector can adopt to improve their own service processes.

This study makes several important contributions to the field. First, it demonstrates the effectiveness of Lean tools in reducing cycle times and improving inventory management in the context of automotive maintenance. Second, it provides empirical evidence on the improvement in customer satisfaction achieved through the optimization of after-sales service processes. Furthermore, the research highlights the importance of work standardization as a critical component for enhancing operational efficiency and facilitating employee training. This research addresses the existing gap in the literature by providing a comprehensive study that integrates multiple Lean tools to enhance after-sales service in the automotive maintenance industry, particularly within the Peruvian context.

Previous studies have often focused on individual Lean tools, whereas this research demonstrates the synergistic effects of integrating 5S, MRP, and SW. This comprehensive approach addresses the intertwined issues of downtime, inventory management, and process efficiency, providing a holistic solution to improve service delivery and customer satisfaction in the automotive industry. As a final observation, it is suggested that future studies focus on applying digital technologies such as the IoT and AI to further improve maintenance management and customer service. It would also be important to explore the application of these tools in other industrial sectors to assess their effectiveness and adaptability in different operational contexts. The implementation of Lean methodologies, combined with advanced technologies, has the potential to significantly transform the efficiency and quality of service, not only in the automotive industry but also in other sectors.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflicts of interest.

CREDIT AUTHOR STATEMENT

Pablo Harboe-Chaman: conceptualization, data curation, formal analysis, investigation, methodology, software, validation, visualization, writing (original draft). **Kent Philipps-Berrospi:** conceptualization, data curation, formal analysis, investigation, methodology, software, validation, visualization, writing (original draft). **Juan Carlos Quiroz-Flores:** conceptualization, project administration, supervision, writing (review and editing).

REFERENCES

- Abad Alburquerque, S. P. (2018). *Análisis del impacto de las promociones en la tasa interna de retención de clientes en el servicio de telefonía fija e internet de Telefónica del Perú, en la ciudad de Nuevo Chimbote, 2017-2018* [Undergraduate thesis, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Institucional de la Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/38796>
- Agrawal, A., Minis, I., & Nagi, R. (2010). Cycle time reduction by improved MRP-based production planning. *International Journal of Production Research*, 38(18), 4823-4841. <https://doi.org/10.1080/00207540050205659>
- Alvarez Flores, F. R., & Alvites Cruz, J. N. (2018). *Mejora del método de trabajo para aumentar la productividad del servicio de mantenimiento empresa Asistencia y Mecánica Automotriz Mitsubishi, Chimbote, 2018* [Undergraduate thesis, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Institucional de la Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/27567>

- Amasifén Pimentel, A. G., Sánchez Wilcamango, L. M., Valles Coral, M. A., Navarro Cabrera, J. R., & Pinedo, L. (2022). Sistema de gestión de la calidad basado en ISO 9001:2015 y su influencia en la satisfacción de los servicios de una empresa automotriz peruana. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 16(32), 16-21. <https://doi.org/10.31908/19098367.2692>
- Arhuis Aponte, F., & Campos Veliz, A. Y. (2016). *Influencia de la calidad de servicio en la satisfacción de los clientes de la empresa automotriz San Cristóbal, Huancayo, 2015* [Undergraduate thesis, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Académico DSpace de la Universidad Nacional del Centro del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/1269>
- Asociación Automotriz del Perú. (2022). *Sector automotor avanza 4,41% en julio de 2022*. <https://aap.org.pe/inei-sector-automotor-crece-4-41-julio-2022/>
- Bernardo-Saavedra, E. A. R., Carpio-Najera, M. A., & Quiroz-Flores, J. C. (2023). *Production management model based on SLP, 5S, and standardized work tools to increase OTIF rate in a shoe repair shop*. In Proceedings of the 2023 6th International Conference on Information Management and Management Science (IMMS '23), New York, USA, 181-188. <https://doi.org/10.1145/3625469.3625511>
- Bozzano, D. (n.d.). *Mantenimiento preventivo de vehículos*. Evaluando Software. <https://www.evaluandosoftware.com/bpm/mantenimiento-preventivo-vehiculos/>
- Brkljac, N., Munic, N., Micovic, A., Kovacevic, A. M., & Rakonjac, P. (2023). Structure and frequency of product nonconformities in the context of customer satisfaction. *International Journal for Quality Research*, 17(1), 291-300. <https://doi.org/10.24874/ijqr17.01-19>
- Caparachín Flores, F. D. M., & Santa Cruz Tineo, E. (2019). *Propuesta para mejorar la eficiencia en el servicio de reparación de averías de vehículos ligeros del sector automotriz, utilizando herramientas lean manufacturing* [Undergraduate thesis, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC. <http://hdl.handle.net/10757/651564>
- Chavez Medina, J., López, N. A. S., & Luna Fernández, V. G. (2020). Methodological development of the supply of materials using MRP. The case of a supplier of the automotive sector. *Estudios de Administración*, 27(2), 113-133. <https://doi.org/10.5354/0719-0816.2020.58231>
- Collado Carbajal, M. A., & Rivera Raffo, J. M. (2018). *Mejora de la productividad mediante la aplicación de herramientas de ingeniería de métodos en un taller mecánico automotriz* [Undergraduate thesis, Universidad San Ignacio de Loyola]. Repositorio de la Universidad San Ignacio de Loyola. <https://hdl.handle.net/20.500.14005/3261>

- Coronel-Vasquez, J., Huamani-Lara, D., Flores-Perez, A., Collao-Diaz, M., & Quiroz-Flores, J. (2022). *Logistics management model to reduce non-conforming orders through lean warehouse and JIT: A case of study in textile SMEs in Peru*. In Proceedings of the 2022 9th International Conference on Industrial Engineering and Applications (Europe) (ICIEA-2022-Europe). Association for Computing Machinery, New York, USA, 19-24. <https://doi.org/10.1145/3523132.3523136>
- Frohn-Sörensen, P., Geueke, M., Tuli, T. B., Kuhnhen, C., Manns, M., & Engel, B. (2021). 3D printed prototyping tools for flexible sheet metal drawing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 115, 2623-2637. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07312-y>
- Fuentes, E. A., & Rojas, A. F. (2018). Estandarización de operaciones en el servicio posventa de una empresa automotriz para la marca principal. *Información Tecnológica*, 29(4), 189-196. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642018000400189>
- Gonzales-León, L. M., Salcedo-Portocarrero, N. P., & Quiroz-Flores, J. C. (2023). *Inventory management model for reducing stockout rate by applying lean warehousing and DDMRP tools in a SMEs in the commercial sector*. In Proceedings of the 13th International Workshop on Computer Science and Engineering (WCSE 2023), Singapur. <https://doi.org/10.18178/wcse.2023.06.055>
- Gstalter, E., Assou, S., Tourbier, Y., & De Vuyst, F. (2020). Toward new methods for optimization study in automotive industry including recent reduction techniques. *Advanced Modeling and Simulation in Engineering Sciences*, 7, Article 17. <https://doi.org/10.1186/s40323-020-00151-8>
- Guillaume, R., Thierry, C., & Zieliński, P. (2017). Robust material requirement planning with cumulative demand under uncertainty. *International Journal of Production Research*, 55(22), 6824-6845. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1353157>
- Industria automotriz creció 4,82% en 2022, ¿qué se espera para este año? (2023, February 16). *Perú21*. <https://peru21.pe/economia/industria-automotriz-crecio-482-en-2022-que-se-espera-para-este-ano-noticia/>
- Jajam, N., & Challa, N. P. (2023). Dynamic behavior-based churn forecasts in the insurance sector. *Computers, Materials & Continua*, 75(1), 977-997. <https://doi.org/10.32604/cmc.2023.036098>
- Kawakami-Arevalo, S., Veliz-Torres, M. S., Quiroz-Flores, J. C., & Noriega-Aranibar, M. T. (2023). *Increased productivity through a production model based on lean manufacturing and SLP tools in small furniture manufacturing workshops*. In Proceedings of the 8th International Conference on Industrial and Business Engineering, New York, USA, 419-425. <https://doi.org/10.1145/3568834.3568873>

- Kochańska, J., & Burduk, A. (2023). A method of assessing the effectiveness of the use of available resources when implementing production processes. *Applied Sciences*, 13(13), Article 7764. <https://doi.org/10.3390/app13137764>
- Mohapatra, B., Singhal, D., & Tripathy, S. (2021). Lean manufacturing towards sustainability: A grey relational framework. *International Journal of System Dynamics Applications (IJSDA)*, 10(1), 16-30. <https://doi.org/10.4018/ijdsda.2021010102>
- Morocho, F. R. A., & Armas, C. S. B. (2017). Calidad en el servicio: oportunidad para el sector automotor en el Ecuador. *INNOVA Research Journal*, 2(9), 42-52. <https://doi.org/10.33890/innova.v2.n9.2017.268>
- Oriundo Ayala, C. O. (2019). *Propuesta de modelo estandarizado para el servicio de mantenimiento vehicular en una empresa automotriz* [Undergraduate thesis, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC. <https://doi.org/10.19083/tesis/624540>
- Pereira, A., Abreu, M. F., Silva, D., Alves, A. C., Oliveira, J. A., Lopes, I., & Figueiredo, M. C. (2016). Reconfigurable standardized work in a lean company: A case study. *Procedia CIRP*, 52, 239-244. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.019>
- Posada Ugaz, C. (2022, April 11). *El sector automotriz en Perú se recupera en 2021*. La Cámara. <https://lacamara.pe/el-sector-automotriz-en-peru-se-recupero-en-2021/>
- Ruiz Rico, M. A. (2020, August 6). La industria automotriz registró utilidades por \$ 785 400 millones durante 2019. *La República*. <https://www.larepublica.co/especiales/las-1000-empresas-mas-grandes-de-2018/la-industria-automotriz-registro-utilidades-por-785-400-millones-durante-2019-3041372>
- Sánchez Villegas, P. J. (2019). *Propuesta de implementación de un modelo de gestión basado en procesos para la mejora de la competitividad de un taller automotriz* [Undergraduate thesis, Universidad ESAN]. Repositorio Institucional Universidad ESAN. <https://hdl.handle.net/20.500.12640/1785>
- Veres, C., Marian, L., Moica, S., & Al-Akel, K. (2018). Case study concerning 5S method impact in an automotive company. *Procedia Manufacturing*, 22, 900-905. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.127>
- TOP 3 key performance indicators for car dealer aftersales departments. (n.d.). Incadea. <https://www.incadea.com/en/explore-insights/articles/top-3-key-performance-indicators-for-car-dealer-aftersales-departments/>
- Villanueva Arrieta, D. P. (2018). *Propuesta de mejora para una empresa del sector automotriz basado en el modelo EFQM en la gestión de la calidad* [Undergraduate thesis, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC. <http://hdl.handle.net/10757/623059>

Villarreal Samaniego, J. D., Santillán-Salgado, R. J., & Escobar Saldivar, L. J. (2022). The global automotive industry stock returns during the COVID-19 pandemic. *Revista Mexicana de Economía y Finanzas Nueva Época REMEF*, 17(4), 1-21. <https://doi.org/10.21919/remef.v17i4.800>

MODELO DE GESTIÓN PARA LA APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE *LEAN MANUFACTURING* PARA DISMINUIR LAS DEVOLUCIONES DE PEDIDOS ERRADOS EN UNA EMPRESA FARMACÉUTICA

MELINA NADEL CARRILLO QUEZADA*

<https://orcid.org/0009-0006-8028-7137>

Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú

Recibido: 11 de febrero del 2025 / Aceptado: 10 de marzo del 2025

Publicado: 10 de junio del 2025

<https://doi.org/10.26439/ing.ind2025.n48.7755>

RESUMEN. En esta investigación se aplicaron herramientas de *lean manufacturing* para disminuir las devoluciones de pedidos errados, principal problema que afecta a la empresa farmacéutica en estudio. Para ello, se elaboró un *value stream mapping* para determinar los desperdicios y las herramientas *lean* por usar (5S, SMED y *kaizen*). El análisis de datos se realizó mediante técnicas de estadística inferencial, con el objetivo de probar las hipótesis planteadas. Para ello, se realizó una evaluación para medir la confiabilidad y la normalidad del porcentaje de devoluciones de pedidos errados de la empresa en estudio. Tras la aplicación de diversas herramientas de mejora, se procedió a evaluar los resultados obtenidos del rango enero-diciembre del 2023. El resultado total indicó que el porcentaje de devoluciones de pedidos errados disminuyó de 14 % al 7 %. Entonces, se concluye que la adopción de herramientas *lean* ha generado ventajas significativas a la empresa, como la detección de ineficiencias, estandarización y la mejora continua.

PALABRAS CLAVE: devoluciones / *lean manufacturing* / 5S / SMED / *kaizen*

Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

* Autor corresponsal.

Correo electrónico: melina.carrillo@unmsm.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).

MANAGEMENT MODEL FOR THE APPLICATION OF LEAN MANUFACTURING TOOLS TO REDUCE RETURNS OF INCORRECT ORDERS IN A PHARMACEUTICAL COMPANY

ABSTRACT. The research seeks to apply lean manufacturing tools to reduce returns of wrong orders, the main problem that affects the company under study, which is a pharmaceutical company. For which it will begin by developing a value stream mapping that determines the waste and the Lean tools to use (5S, SMED and Kaizen). Data analysis was done using inferential statistical techniques, with the objective of testing the proposed hypotheses. For this, an evaluation was carried out to measure reliability and normality. After the application of various improvement tools, each result obtained from January to December 2023 was evaluated. The final result was that the percentage of returns of incorrect orders decreased from 14 % to 7 %. It was concluded that the adoption of Lean tools generated significant advantages for the company, ranging from the detection of inefficiencies, standardization to continuous improvement.

KEYWORDS: returns / lean manufacturing / 5S / SMED / *kaizen*

INTRODUCCIÓN

Según Jadidi et al. (2024) la tasa global de devolución de pedidos errados promedia el 15 % en los últimos dos años, lo que ha generado altos costos y pérdidas millonarias equivalentes al 10 % de las ventas empresariales. Además, según Bian y Xiao (2025) tres de cada cinco empresas consideran que las devoluciones son un problema crítico que afecta su rentabilidad e imagen. Para afrontarlo, la logística actual adopta la metodología del *lean manufacturing*, enfocada en optimizar procesos y eliminar desperdicios para mejorar el flujo de trabajo y fomentar la participación activa del personal (Khouja & Hammami, 2023).

Diversos estudios internacionales evidencian que la implementación de *lean manufacturing* y *lean logistic* en procesos críticos reduce las devoluciones de pedidos errados, optimiza la eficiencia y estandariza operaciones. Por ejemplo, en el estudio de Khan et al. (2022) se analizó una empresa con problemas en la preparación de pedidos por falta de un enfoque metodológico adecuado, lo que afectó los costos y tiempos de entrega. Al aplicar herramientas *lean* (5S, justo a tiempo y *andon*), se logró disminuir el porcentaje de las devoluciones del 12 % al 6 %, de los errores de *picking* del 0,17 % al 0,01 % y de los pedidos errados del 15 % al 9 %.

Asimismo, en el estudio presentado por Haro et al. (2023), se ha identificado que, según el marco TOE (tecnología, organización y entorno), las pymes registran más devoluciones y quejas que las grandes empresas, debido a la baja adopción de sistemas de planificación de recursos empresariales para mejorar su competitividad. En ese sentido, la implementación de herramientas *lean*, enfocadas en la gestión de inventario, interacción con clientes y planificación estratégica, permitió optimizar el servicio y los tiempos de atención y redujo las devoluciones hasta en un 10 %.

Por otro lado, según Büyüközkan et al. (2025), en su artículo sobre la aplicación de herramientas de *lean logistic*, es esencial comenzar a evaluar la relevancia de las actividades relacionadas con la gestión de los productos antes de su distribución al cliente. En este contexto, señalan que etapas como el *picking*, el *packing* y el almacenamiento de los productos son procesos clave para alcanzar este objetivo. Entonces, demuestran que el uso de técnicas de *lean logistic*, redistribución de las áreas de trabajo, *six sigma* y *kaizen* permiten incrementar el porcentaje de órdenes perfectas en un 10 % y reducir el porcentaje de devoluciones de pedidos en un 15 % (Büyüközkan et al., 2025).

Dias et al. (2019) señalan que las devoluciones de pedidos representan un desafío recurrente para el sector logístico en su operación diaria, ya que están estrechamente vinculadas con la experiencia y la satisfacción de los clientes. Por ello, proponen implementar la metodología de *lean manufacturing* para reducir la tasa de devolución de pedidos en un 7 % y atacar las razones principales por las cuales los clientes devuelven sus pedidos: el incumplimiento en las expectativas de sus pedidos, las fallas en el

estado del producto, las especificaciones distintas a las requeridas por los clientes y la insatisfacción del cliente en la adquisición de los productos.

En el Perú, según el estudio presentado por Naranjo y Gutiérrez (2024), al cierre del 2023 se efectuaron cerca de 8000 devoluciones al año, con un promedio mensual de aproximadamente 600 paquetes con logística inversa. En ese sentido, se proyectó que al cierre del 2025 se tenga un total de 9200 devoluciones de pedidos. Por ello, el uso de herramientas de mejora continua, como la metodología SMED (*single minute exchange or die*) y *kaizen*, permitieron que las devoluciones de pedidos puedan reducirse en un 8 %.

El sector farmacéutico en Perú muestra signos de recuperación y se espera un crecimiento moderado de 3 % a 4 % en el 2024 (Asociación Nacional de Laboratorios Farmacéuticos, 2024). En este contexto, el artículo propone medidas para reducir los desperdicios en los procesos críticos de una empresa farmacéutica, enfocándose en disminuir las devoluciones de pedidos errados que alcanzaron un 15 % en diciembre del 2022 antes de implementar las mejoras.

También se cuenta con el estudio de Bravo (2023), en el que la problemática se centra en la necesidad de implementar un enfoque metodológico que facilite la distribución de los artículos, considerando la estimación de las duraciones del ciclo productivo, así como una evaluación anticipada del nivel de insatisfacción asociado a una distribución incorrecta de los artículos, lo que genera retrasos en los pedidos y que muchos de estos sean devueltos. Al implementar herramientas *lean*, tuvo como resultado una reducción del porcentaje de ubicaciones erradas de 20 % a 4 %, un incremento en la efectividad del área de trabajo en hasta 20 %, lo que aumentó las entregas a tiempo de los pedidos y redujo las devoluciones de pedidos de 16 % a 7 %.

Iparraguirre y Torres (2023) analizaron el problema de los altos costos y tiempos en recolección, empaquetado y devolución de pedidos. Para ello, se determinaron tres equipos de mejora que buscaban optimizar los tiempos y distancias en la preparación de pedidos, supervisar y prevenir los incidentes, y reorganizar los anaqueles y condiciones laborales con protocolos estandarizados. Estas acciones elevaron las entregas perfectas del 70 % al 85-90 % y redujeron las devoluciones del 14 % al 7 %.

Ricra y Valenzuela (2023) proponen aplicar técnicas *lean* en una empresa distribuidora para reducir las devoluciones a un máximo del 9 %, lo que representa el 18 % de sus ingresos. Además, destacan la importancia de gestionar eficazmente los retornos, ya que la corrección oportuna de pedidos errados, la reposición de productos dañados y las compensaciones mejoran la percepción del servicio. Por ello, optimizar estos procesos permitiría a las empresas aprovechar mejor las devoluciones y las solicitudes de cambio (Ricra & Valenzuela, 2023).

Por todo lo anterior, el propósito del presente estudio fue implementar herramientas *lean* (5S, SMED y *kaizen*) para disminuir las devoluciones de los pedidos errados de la

empresa en estudio a un máximo de 7 %. Para ello, se realizó un mapa de flujo de valor (*value stream mapping*, VSM) para determinar las herramientas *lean* que permitan disminuir las devoluciones de los pedidos errados y, por ende, reducir los desperdicios que se encuentren, y, finalmente, realizar una evaluación de los resultados obtenidos.

Asimismo, cabe señalar que la hipótesis planteada en este estudio es que, con la implementación de herramientas de *lean manufacturing* (5S, SMED y *kaizen*), se logra disminuir el porcentaje de devoluciones de pedidos errados en una empresa farmacéutica. Para demostrar dicha hipótesis, se realizó un análisis estadístico que permita realizar un contraste con lo planteado.

En relación con lo anterior, este artículo busca aportar al conocimiento sobre técnicas logísticas en el sector farmacéutico, profundizando en aspectos clave del *picking* y *packing*. Para ello, se ha destacado la influencia de la altura de los estantes en la eficiencia del *picking*, por lo que se recomienda ubicar los productos entre los hombros y la cintura, así como la importancia de la secuenciación y el posicionamiento adecuado de los productos. Además, se ha abordado el *packing*, que incluye la selección del embalaje, verificación de características y etiquetado de productos (Ajuria et al., 2023). Asimismo, como se ha señalado, la implementación de las herramientas de *lean manufacturing* permitirá dar soluciones novedosas a los inconvenientes mencionados anteriormente, puesto que para la empresa en estudio las devoluciones de los pedidos por errores en estos le generan un impacto promedio anual de S/ 92 183.

Finalmente, en cuanto a las limitaciones del estudio, estas se relacionan con el tamaño de las empresas. En grandes empresas, algunas mejoras requieren herramientas *lean* más avanzadas, mientras que, en las pymes, la aplicación de 5S, estandarización de procesos y *kaizen* generan mayor impacto. Por ejemplo, los estudios de Frank et al. (2025) han demostrado que optimizar el *picking* y *packing*, procesos clave en la preparación y entrega de pedidos, reduce las devoluciones al 10 %.

METODOLOGÍA

Este estudio es del tipo aplicado, con diseño de investigación explicativo y enfoque cuantitativo. Es aplicado porque, de acuerdo con Vara (2012), "sus resultados se usan de forma inmediata para dar solución a problemas concretos, prácticos, para la realidad cotidiana de las empresas" (p. 202). Es explicativo, pues "busca determinar las causas de un fenómeno determinado y realizar la aclaración del por qué lo causa" (Vara, 2012, p. 196). Y es cuantitativo, ya que "involucra un conjunto de procesos y pasos que hay que seguir y probar" (Muñoz, 2011, p. 23).

El diseño que se usó en la investigación es experimental, el cual, según Hernández et al. (2014, p. 129), "consiste en la manipulación de una variable experimental que no ha

sido comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento en particular". Es decir, el investigador

provoca una situación para poder introducir determinadas variables de estudio manipuladas por él, controlar el aumento o disminución de esa variable, y su efecto en las conductas observadas. El investigador maneja deliberadamente la variable experimental y luego observa lo que sucede en situaciones controladas. (Hernández et al., 2014, p. 129)

En lo que respecta a la delimitación, es del tipo preexperimental, como lo señala Hernández et al. (2014, p. 141), quienes mencionan que los diseños preexperimentales

son diseños de un solo grupo de control, al que se le denominará grupo de estudio. A este se le va administrar tratamientos para luego aplicarles una medición de una o más variables para poder determinar cuál es el nivel del grupo de estas.

En síntesis, un diseño preexperimental carece de un nivel significativo de control sobre factores ajenos a la investigación y no permite una comparación estructurada entre distintos grupos, lo cual lo distingue de los enfoques cuasiexperimentales y experimentales puros. Es decir, la investigación puede considerarse como un diseño preexperimental, puesto que carece de un grupo de control, presenta una falta de aleatorización y tiene una baja validez interna.

La unidad de análisis ha sido el pedido realizado por un cliente de la empresa farmacéutica en estudio. Y la población fue infinita, ya que correspondía a todos los pedidos que han sido efectuados por clientes en la empresa farmacéutica en estudio, comprendidos en el periodo de enero hasta diciembre del 2022 (antes de la implementación de las mejoras) y desde enero hasta diciembre del 2023 (después de la implementación de las mejoras). Para la investigación, se seleccionó una muestra intencional no probabilística, debido a la accesibilidad y disponibilidad de la información de todos los pedidos que han sido efectuados por clientes en la empresa farmacéutica objeto del presente estudio.

Para la recolección de datos, se registraron las devoluciones de pedidos (2022-2023) en Excel y se elaboró un VSM para identificar pasos críticos, retrasos y el tiempo del ciclo. Luego, se aplicaron herramientas *lean* para eliminar desperdicios: 5S para optimizar orden y limpieza; SMED para reducir tiempos de cambio y transformar tareas internas en externas; y Kaizen que, mediante el análisis de los cinco porqués, permitió identificar problemas, establecer contramedidas, ejecutar mejoras y estandarizarlas.

Luego, se compararon los resultados antes y después de aplicar las herramientas *lean* para evaluar la reducción de devoluciones. Además, se contrastaron las hipótesis mediante pruebas de confiabilidad con el coeficiente de correlación de Pearson, elegido por su capacidad de medir la asociación entre variables sin inferir causalidad. Su uso

fue adecuado debido a la naturaleza cuantitativa de las variables, su relación lineal y la distribución normal de los datos. En este contexto, el uso del coeficiente de Pearson se consideró como la alternativa más apropiada para el análisis.

También se realizaron pruebas de normalidad por medio del test de Shapiro-Wilk, dado que el estudio se llevó a cabo con muestras pequeñas menores de cincuenta, en las que se requirió una evaluación más precisa de posibles desviaciones respecto a la normalidad, además de que esto permitió descartar la presencia de sesgos en los datos analizados, lo que hizo que el test de Shapiro-Wilk haya resultado ser la opción más conveniente en contraste con el test de Kolmogorov-Smirnov, más apropiado para muestras grandes o en casos en los que se busca realizar una comparación con una distribución teórica específica (Hernández et al., 2014).

Posteriormente, se procedió a verificar la hipótesis del estudio empleando la prueba t de Student, lo que permitió determinar el grado de aceptación o rechazo de la hipótesis planteada. Esta prueba fue seleccionada, puesto que en la investigación se pretendió detectar alguna diferencia significativa en los datos analizados que presentaron atributos semejantes para garantizar la precisión y validez de los resultados. A esto, se le puede sumar lo determinado anteriormente, que las variables analizadas son de tipo cuantitativa y continua, y se comprobó que los datos siguen una distribución normal y se trabajó con muestras pequeñas a las que se puede acceder sin inconvenientes (Hernández et al., 2014).

RESULTADOS

Porcentaje de devoluciones de pedidos errados

Para determinar el porcentaje de devoluciones de pedidos errados se usó la siguiente fórmula:

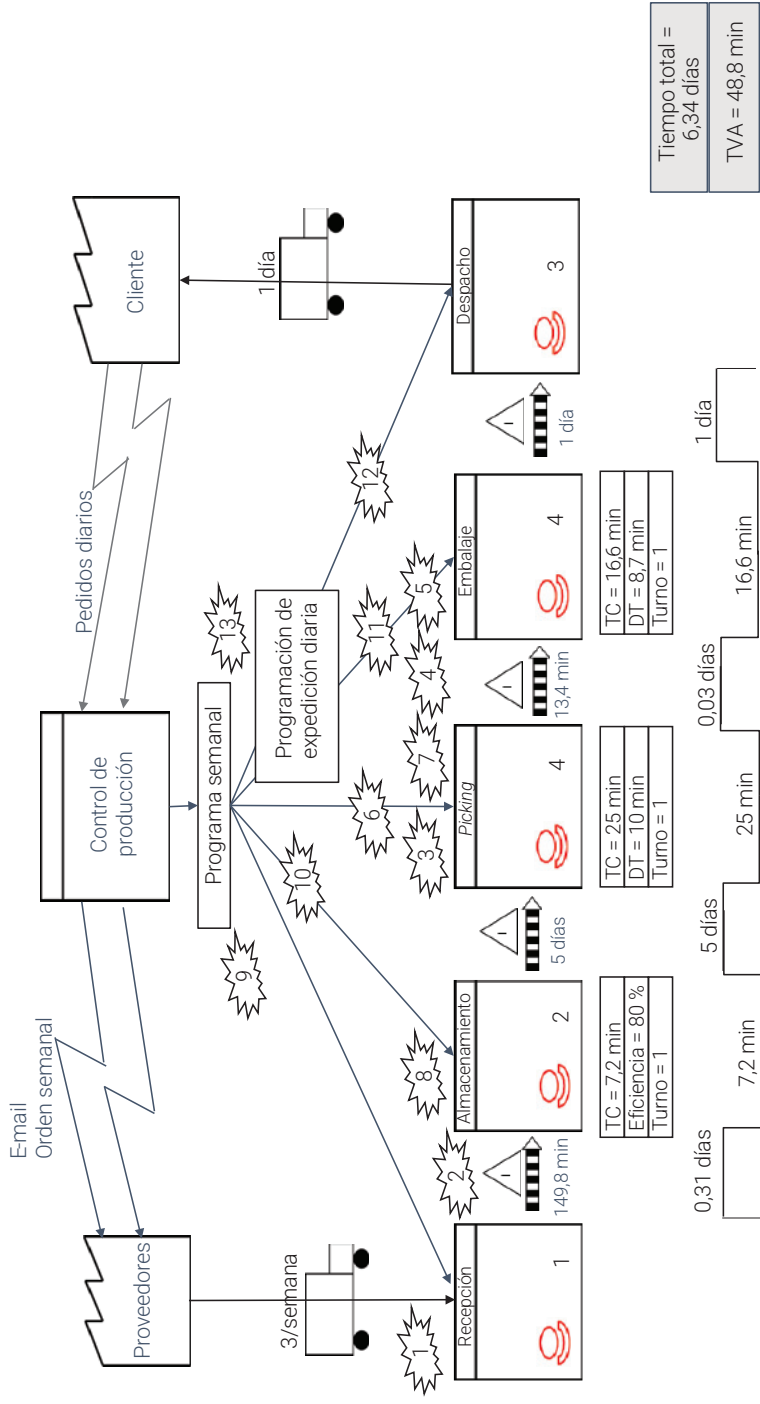
$$\% \text{ Devoluciones de pedidos errados} = \frac{\text{Cantidad de devoluciones}}{\text{Cantidad de envíos}} * 100 \%$$

A fin de realizar una evaluación inicial del porcentaje de devoluciones de pedidos errados se tomó el registro de las devoluciones desde enero hasta diciembre del 2022, en el que se obtuvo valores que superan el 14 %, es decir, un porcentaje por encima del valor máximo esperado (7 %).

Mapa del flujo de valor

Para la realización del VSM, se tomó los datos provistos por la empresa de estudio, con lo cual se realizó la diagramación del mapa, tal como se muestra en la Figura 1.

Figura 1
Mapa de flujo de valor de la empresa en estudio



Identificación de desperdicios

Tras haber realizado un VSM, se procedió a determinar las causas de las mudas o desperdicios detectados en el estudio. Estos se identificaron como acciones que no aportan valor (véase la Tabla 1).

Elección de las herramientas de *lean manufacturing*

Como siguiente paso, se determinaron las herramientas *lean* para eliminar los desperdicios. En la Tabla 1, se muestran las metodologías a implementar: 5S, SMED y *kaizen*.

Tabla 1
Elección de las herramientas de lean manufacturing a usar

Desperdicios	Justo a tiempo	Mantenimiento productivo Total	5S	Gestión de la calidad total	Andon	Kaizen	SMED
El <i>pallet</i> se queda esperando que se revise toda la documentación							X
El <i>pallet</i> permanece en espera de ser movida		X					
Mientras se imprimen las hojas del proceso de <i>picking</i> , el auxiliar aguarda su finalización							X
Tener una cesta de productos que aguardan a ser embalados			X				X
El ayudante aguarda a la generación de la factura o nota de salida del producto							X
Se efectúan desplazamientos largos para el <i>picking</i> de los productos regulados					X		
Realizar el rastreo de los productos ubicados fuera de su lugar designado		X	X	X		X	X
Exceso de productos que presentan vencimiento en su fecha de caducidad o con fechas cercanas	X		X				
Realizar el rastreo de los documentos en instalaciones externas al almacén			X	X	X		
Confusión al sacar los productos de las estanterías	X		X			X	X
Falta de detección de fallas al efectuar el control en la calidad de los productos						X	
Fallas durante el proceso de <i>packing</i>						X	X
Subutilización del tiempo de los trabajadores en disminuir los desperdicios identificados			X			X	
Sumatoria	2	2	6	2	2	5	7

Aplicación de la metodología 5S

El primer paso fue obtener la aprobación de la alta dirección y asegurar las facultades necesarias para la ejecución. Luego, se informó y capacitó a los colaboradores sobre la metodología, para lo cual se establecieron etapas para su seguimiento y control. Los pasos incluyen lo siguiente:

- *Seiri* (clasificar). Se buscó determinar y clasificar los artículos en los departamentos del almacén que fueran realmente necesarios para que las funciones de la empresa se realizaran de forma efectiva para reducir el espacio de trabajo.
- Se evaluó la periodicidad de estos eventos según las medidas a adoptar: sustituir, reubicar, organizar o descartar artículos innecesarios, como se observa en la Tabla 2. Además, se identificaron elementos indispensables, deteriorados, desactualizados y en exceso.

Tabla 2
Clasificación de los artículos para identificar las medidas a adoptar

Nombre del departamento	Artículos	Encargado	Total de artículos	Medida a adoptar
Picking de productos	Envoltura de los productos	Asistente de almacenaje	16	Descartar
Picking de productos	Destornilladores	Encargado de almacén	2	Reubicar
Picking de productos	Periódicos antiguos	Encargado del almacén	3	Descartar
Picking de productos	Liga para sujeción	Asistente de almacenaje	12	Reubicar
Picking de productos	Mercancía próxima a vencer	Encargado de almacén	8	Reubicar
Picking de productos	Paños en mal estado	Asistente de almacenaje	3	Reubicar
Embalaje	Caja deteriorada	Asistente de almacenaje	3	Descartar
Embalaje	Tijera en mal estado	Asistente de almacenaje	1	Sustituir
Embalaje	Cinta adhesiva vacía	Asistente de almacenaje	4	Descartar
Devoluciones	Etiquetas obsoletas	Encargado de almacén	40	Descartar
Devoluciones	Hoja usada	Asistente de almacenaje	3	Descartar

Nombre del departamento	Artículos	Encargado	Total de artículos	Medida a adoptar
Cuarentena	Caja deteriorada	Asistente de almacenaje	4	Reubicar
Cuarentena	Retazos de cartones	Asistente de almacenaje	6	Reubicar
Cuarentena	Bolígrafos	Asistente de almacenaje	7	Reubicar
Administrativo	Calculadora en mal estado	Asistente de administración	2	Sustituir
Administrativo	Documentación innecesaria	Asistente de administración	89	Reubicar
Administrativo	Documentación innecesaria	Asistente de administración	60	Organizar
Administrativo	Correspondencia impresa	Supervisor de calidad	40	Descartar
Administrativo	Sellos oficiales	Encargado de almacenaje	3	Organizar
Administrativo	Impresora averiada	Encargado de almacenaje	2	Sustituir

- **Seiton** (ordenar). Se reorganizó el almacén para separar las zonas de cuarentena y productos aprobados para facilitar su identificación, con etiquetas en la parte superior de los estantes. También se señalaron las escaleras utilizadas en el *picking*. Asimismo, fue necesario ordenar las áreas administrativas que presentaban desorden y generaban demoras en la ubicación de documentos.
- **Seiso** (limpiar). Se identificaron áreas del almacén y oficinas con deficiencias en almacenamiento, acumulación de polvo y residuos. Aplicando las 5S, se asignaron espacios a cada trabajador para mantener el orden y la limpieza. Además, se implementó un formato de supervisión diaria para el jefe de almacén.
- **Seiketsu** (estandarizar). Se verificó el cumplimiento de los anteriores pasos y se presentó de forma periódica los avances obtenidos para destacar los resultados positivos y animar al personal a continuar con la mejora.
- **Shitsuke** (disciplina). Para lograr el compromiso del equipo, se difundieron los principios de la metodología a través del periódico mural y correos internos, y se destacaron objetivos, beneficios e indicadores. Además, se incluyó una sesión sobre la metodología en las inducciones y se planificó una charla si es que los indicadores no cumplieran los estándares definidos.

Aplicación de SMED

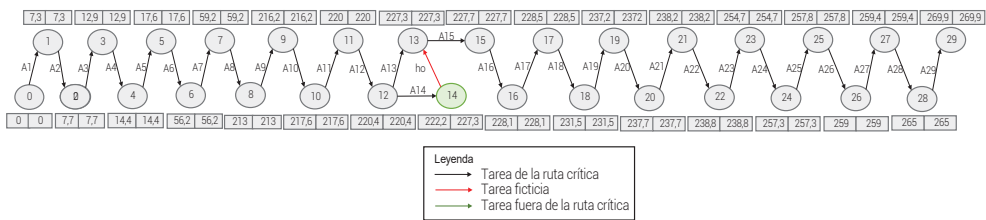
Con esta herramienta se buscó reducir el tiempo de preparación del sistema productivo, por lo que se incrementó la productividad y capacidad de respuesta. A continuación, se detallan los pasos:

Paso 1: análisis del proceso de transformación

Este paso comenzó con el ingreso de productos y el empaquetado de pedidos para reducir el tiempo del ciclo y eliminar tareas sin valor agregado. Luego, se analizó la secuencia de tareas con el personal y se elaboró el diagrama PERT (*program evaluation and review technique*) (véase la Figura 2).

Figura 2

Esquema PERT de la secuenciación actual de tareas



El esquema PERT reflejó la duración total del ciclo del proceso de producción, desde la tarea en la que se recepcionan los productos hasta su empaquetado, lo cual ascendió a 269,9 minutos. Todas las tareas, con excepción del número 14 (verificar el lote debido a la ausencia de un producto específico), forman parte de la ruta crítica.

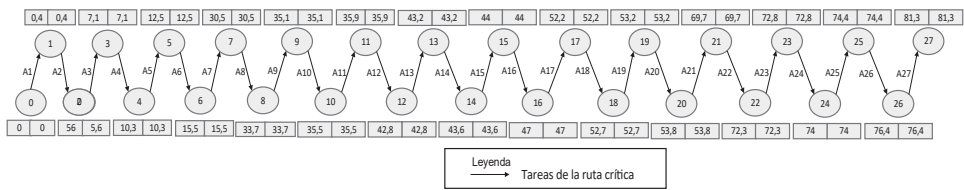
Paso 2: división de las tareas en tareas internas y tareas externas

Las tareas se clasificaron en internas (sin uso del producto) y externas (con uso del producto en el almacén). Se identificó que las tareas internas consumían 191,3 minutos, equivalentes al 71,41 % del tiempo total de producción.

Paso 3: transformar las tareas internas en tareas externas

Para mejorar la eficiencia, se redujo el tiempo en tareas de preparación, ya que los auxiliares del almacén generaban cuellos de botella en la ruta crítica. Con la implementación de SMED, se redistribuyeron los tiempos y se logró disminuir las tareas externas de 72,4 a menos de 32,7 minutos y las internas de 171,2 a 22,9 minutos. Con estos datos, se elaboró un nuevo esquema PERT (véase la Figura 3).

Figura 3
Esquema PERT de la secuenciación propuesta de tareas



El nuevo esquema PERT redujo el tiempo total a 81,3 minutos, un 69,88 % menos que el anterior. Esto se logró optimizando tareas internas y externas, reduciendo su número de 29 a 27 y mejorando la eficiencia del proceso.

Paso 4: estandarización de la metodología SMED

Se buscó mantener las mejoras e identificar nuevas estrategias para optimizar la preparación de pedidos. Para ello, se capacitó al personal sobre la metodología y se reforzó el aprendizaje mediante el periódico mural y el buzón de sugerencias, destacando los logros alcanzados.

Aplicación de kaizen

Con esta metodología se optimizó procesos previos al logro de resultados más favorables, para lo cual se abordó cada dificultad a partir de su origen para prevenir su recurrencia. Esto se logró al realizar lo siguiente: en primer lugar, al implementar esta metodología se planteó reducir las mudas que fueron identificadas al realizar el VSM, tales como fallos al extraer cada producto ubicado en los estantes, omisión en la detección de defectos durante los controles de calidad, errores durante el proceso de empaquetado y subutilización del tiempo del personal en actividades enfocadas en la eliminación de desperdicios. Luego, en el análisis de la situación problemática, se hicieron uso de los pasos de la fase inicial del ciclo de Deming, destacando la necesidad de profundizar en el entendimiento de causas y posibles respuestas a cada problema detectado. Finalmente, mediante la metodología de los porqués, se buscó identificar las principales causas a los problemas determinados anteriormente, con el objetivo de llegar a su causa fundamental e implementar una solución definitiva que eliminó por completo la situación problemática. Los resultados se presentan en la Tabla 3 y las contramedidas en la Tabla 4.

Tabla 3
Metodología de los cinco porqués (kaizen)

	Fallos cuando se extraen artículos de los estantes	Incapacidad para detectar fallas durante el proceso de inspección de calidad	Fallas en la etapa de empaquetado	Los trabajadores no dedican un tiempo de su trabajo en actividades orientadas a minimizar los desperdicios
	Carencia de compromiso por parte de los trabajadores	Escaso cuidado y atención en los procesos	Débil compromiso con la calidad del trabajo	Escasa participación activa de los trabajadores
	Insuficiente supervisión en las tareas realizadas	Fatiga derivada de la carga laboral	Deficiencia en la supervisión y control del proceso	Falta de herramientas o canales para una comunicación efectiva
¿Por qué?	Limitado conocimiento del procedimiento	Sobrecarga de trabajo que limita la efectividad	Escasos conocimientos técnicos del proceso	Conocimientos limitados respecto a la optimización del tiempo
	Ausencia de programas de capacitación	Persistencia de errores en etapas anteriores	Carencia de programas formativos que refuercen habilidades	Carencia de capacitaciones específicas para gestionar el tiempo
	Inexistencia de lineamientos claros para guiar las actividades	Falta de directrices específicas para prevenir los errores	Ausencia de pautas claras para la realización de las tareas	Ausencia de políticas o normas que orienten las mejoras

Tabla 4
Detalle de contramedidas a implementar

	Fallos cuando se extraen artículos de los estantes	Incapacidad para detectar fallas durante el proceso de inspección de calidad	Fallas en la etapa de empaquetado	Los trabajadores no dedican un tiempo de su trabajo en actividades orientadas a minimizar los desperdicios
Contramedidas	Desarrollo de un manual de procedimientos para la gestión del <i>picking</i>	Creación de un manual técnico que detalle los pasos a seguir en el empaquetado	Creación de un manual técnico que detalle los pasos a seguir en el empaquetado	Documentar los logros y mejoras implementadas, complementándolo con la introducción de canales efectivos para la comunicación interna

Se elaboró un plan de trabajo con un cronograma detallado para su implementación, en el que se han definido objetivos y resultados esperados. Esto incluyó un manual de gestión del *picking*, un manual técnico del empaquetado, la documentación de mejoras y la optimización de la comunicación interna.

Luego, se evaluó el plan de trabajo revisando la adopción de los manuales y supervisando la entrega de documentos sobre mejoras y resultados. Además, los canales de comunicación permitieron recopilar datos que evidenciaran el impacto de cada propuesta.

Para estandarizar las propuestas, el manual de procedimientos para la gestión del *picking* redujo los errores y mejoró el manejo de los productos. Se implementó un método de inspección para garantizar un empaquetado sin inconvenientes, lo que redujo pérdidas en 71,2 %, equivalente a S/ 12 726,1.

En el manual técnico de empaquetado se establecieron estándares de calidad y detección de errores. Se optimizó la metodología con nuevos materiales para garantizar la protección y entrega de pedidos, lo que redujo las devoluciones en 50,38 % y se ahorró S/ 30 817,25.

Para documentar los avances, se implementaron canales de comunicación interna que difundieran las mejoras y los resultados para fomentar el reconocimiento y compromiso del personal. Además, se promovió su participación mediante buzones de retroalimentación y reuniones periódicas.

Resultados de las 5S

La implementación de las mejoras permitió incrementar el número de pedidos procesados. Este resultado se debió a una mejor organización del entorno laboral, lo que minimizó los errores en los pedidos y redujo el tiempo invertido en localizar los productos. Asimismo, un inventario más ordenado facilitó un control más efectivo sobre las fechas de caducidad, lo que optimizó las áreas para el almacenaje de productos, tal como se detalla en la Tabla 5.

Tabla 5
Resultados de la aplicación de la metodología de las 5S

Nombre del Indicador	Antes de la implementación	Después de la implementación
Porcentaje de pedidos procesados	89,76	96,31
Porcentaje de pedidos devueltos	14,00	11,96
Porcentaje de capacidad de almacenamiento disponible	84,20	98,35

Resultados de la aplicación de SMED

La aplicación de la metodología SMED generó un incremento en la cantidad de pedidos procesados, ya que permitió reducir el tiempo del ciclo productivo en un 69,88 %, tal como se detalla en la Tabla 6.

Tabla 6
Resultados de la aplicación de SMED

Nombre del indicador	Antes de la implementación	Después de la implementación
Porcentaje de pedidos procesados	89,76	98,89
Duración del proceso de producción (min)	269,90	81,30
Porcentaje de pedidos devueltos	11,96	9,56

Resultados de la aplicación de kaizen

La implementación de *kaizen* contribuyó a la disminución de los pedidos que presentaban errores, lo que a su vez redujo el número de pedidos devueltos. Esto permitió incrementar la cantidad de pedidos procesados, ya que se eliminó el tiempo perdido en reprocesos. Los resultados de estas mejoras se detallan en la Tabla 7.

Tabla 7
Resultados de la aplicación de kaizen

Nombre del indicador	Antes de la implementación	Después de la implementación
Porcentaje de pedidos procesados	89,76	99,70
Porcentaje de pedidos con errores	9,78	4,10
Porcentaje de pedidos devueltos	9,56	7,00

Tras implementar las herramientas *lean* (5S, SMED y *kaizen*), las devoluciones de pedidos errados se redujeron del 14 % al 7 %. Al respecto, es también importante mencionar que se presentaron ciertos factores externos que pudieron influenciar en los resultados obtenidos, como fueron los factores organizacionales y humanos: la resistencia al cambio, la capacitación del personal y la gestión del liderazgo. Para abordarlos, se realizaron capacitaciones sobre *lean* y su impacto en los procesos y la cultura organizacional. Además, el apoyo de la alta dirección y la adopción de prácticas *lean* por parte del personal fueron clave y el evidenciar que la empresa siempre está dispuesta a recibir sugerencias y recomendaciones que ayuden a seguir mejorando (se

instauró un buzón de sugerencias, con el objetivo de que personal pueda hacer llegar su opinión).

Prueba de hipótesis

Para su análisis, se evaluó el porcentaje de devoluciones de pedidos errados en el pretest (enero a diciembre del 2022) y posttest (enero a diciembre 2023). Para ello, se realizó una prueba de confiabilidad mediante el coeficiente de correlación de Pearson que es de 0,85, lo que significa que es confiable porque es mayor a 0,75; es decir, tiene una correlación positiva considerable, tal como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8
Prueba de confiabilidad del porcentaje de devoluciones de pedidos errados

		Pretest (enero-diciembre 2022)	Posttest (enero-diciembre 2023)
Pretest (enero-diciembre 2022)	Correlación de Pearson	1	0,850
	N	12	12
Posttest (enero-diciembre 2023)	Correlación de Pearson	0,850	1
	N	12	12

Nota. Los datos fueron obtenidos del software SPSS Statistics 25.

Para realizar el contraste de las hipótesis de la investigación se hizo uso de la prueba t de Student mediante el uso del *software* SPSS Statistics 25, que permite efectuar un análisis de la normalidad de los datos tomados para los doce meses antes y después de la implementación de las mejoras. Para ello, se plantearon la hipótesis nula y la hipótesis alternativa:

- Hipótesis nula (H_0): los datos siguen una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H_i): los datos no siguen una distribución normal.

Luego, se seleccionó el nivel de significancia α , que, para el estudio, fue del 5 %. Y se realizó la selección del valor estadístico de prueba (Kolmogorov-Smirnov o Shapiro-Wilk). El estudio se realizó mediante el valor estadístico de Shapiro-Wilk, el cual presentó un mejor comportamiento en muestras pequeñas menores de cincuenta.

- Se formuló una regla de decisión:
- Si valor $p \geq 0,05$, entonces se acepta H_0 y se rechaza H_i
- Si valor $p < 0,05$, entonces se rechaza H_0 y se acepta H_i

Con base en los resultados obtenidos, se tomó la decisión. Fue así que se realizó el análisis con un nivel de confianza del 95 % y de significancia del 5 %. Con ello, se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 9.

Tabla 9

Pruebas de normalidad del porcentaje de devoluciones de pedidos errados para el pretest y postest

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Pretest (enero-diciembre 2022)	0,944	12	0,552
Postest (enero-diciembre 2023)	0,873	12	0,072

Nota. Los datos fueron obtenidos del *software* SPSS Statistics 25.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la Tabla 9, se pudo observar que, con la prueba estadística de Shapiro-Wilk, el valor de significancia del porcentaje de devoluciones de pedidos errados antes de la implementación de mejoras fue 0,552 y el obtenido después de la implementación fue 0,072. Es decir, ambos valores fueron mayores a 0,05, por lo que se aceptó la hipótesis nula y se pudo afirmar que los datos tenían una distribución normal.

Para la contrastación de las hipótesis también se hará uso del *software* SPSS Statistics 25 en los 12 meses antes de la implementación de las mejoras (enero a diciembre del 2022) y en los 12 meses después de la implementación de mejoras (enero a diciembre del 2023). En esta, de acuerdo a la cantidad de datos, que es 12, se usará la prueba t de Student en estos dos grupos de evaluación. Las hipótesis que se plantean serán las siguientes:

Hipótesis nula (H_0): no existe diferencia significativa en el porcentaje de devoluciones de pedidos errados antes y después de la implementación.

Hipótesis alternativa (H_1): existe diferencia significativa en el porcentaje de devoluciones de pedidos errados antes y después de la implementación.

Para el caso del nivel de significancia se usará un α de 0,05 y uno de confianza del 95 %. Entonces, el criterio para tomar decisiones será el siguiente:

Si $p < 0,05$, se rechaza H_0 .

Si $p \geq 0,05$, se acepta H_0 .

En la Tabla 10, se muestran los valores obtenidos al efectuar la prueba estadística t de Student mediante el *software* SPSS.

Tabla 10

Prueba *t* de Student para el porcentaje de devoluciones de los pedidos errados en el pretest y postest

Pretest y postest	IC 95 %		t	gl	p
	Inferior	Superior			
	0,077961	0,092039	26,579	11	0,000

Nota. Los datos fueron obtenidos del software SPSS Statistics 25.

Como *p* es igual a 0,00 y es menor a 0,05, se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la hipótesis alternativa; es decir, existe diferencia significativa en el porcentaje de devoluciones de pedidos errados antes y después de la implementación de las mejoras.

DISCUSIÓN

Las pruebas de confiabilidad y normalidad (véanse las tablas 8 y 9) han permitido determinar la fiabilidad y validez de los resultados, con mediciones del pretest y postest. Estas han evidenciado que el porcentaje de devoluciones de pedidos errados mediante la implementación de herramientas de *lean manufacturing* (5S, SMED y *kaizen*) han disminuido el porcentaje de devoluciones de un 14 % a un 7 % como máximo.

Los resultados han sido medidos mediante indicadores antes y después de la implementación de las mejoras, con las cuales se ha comprobado la reducción en el porcentaje de devoluciones de pedido errados. La similitud de los resultados con los de otras empresas depende del tamaño de estas, tal como lo mencionan Gómez et al. (2025) en su estudio, en el que muestran que la implementación de herramientas *lean* genera un mejor impacto en las pymes, debido a que estas en su mayoría deben aplicar las 5S como primer paso para lograr establecer mejoras y, luego, dar paso a la aplicación de las demás herramientas *lean*. En el caso de las medianas o grandes empresas, puede sufrir una variación, puesto que, por su tamaño, podría ser necesario implementar otras metodologías que permitan disminuir los porcentajes de las devoluciones.

Los resultados obtenidos se asemejan a los del estudio de Ortiz et al. (2023), quienes concluyen que implementar metodologías de *lean manufacturing* (5S, *kaizen* y *total quality management*) impacta en la disminución de las devoluciones de pedidos en un 8 %. Asimismo, la aplicación de herramientas *lean* incrementó el porcentaje de OTIF (*on time in full*), indicador que permite tener pedidos completos en el tiempo acordado, lo que reduce las devoluciones hasta en un 6 %.

Por su lado, el estudio de Arica-Hernandez et al. (2022) ha evidenciado el problema en la gestión de los pedidos por una falta de preparación de los pedidos, errores en el etiquetado, problemas de *stock* y errores similares a la empresa farmacéutica del

caso de estudio de esta investigación en el *picking* y *packing* como procesos críticos, así como los errores en la ubicación de los productos. Esto ha desencadenado en la devolución de los pedidos por parte de los clientes y que, mediante la implementación de 5S y *andon*, se logró disminuir las devoluciones de los pedidos en un 8,5 %.

Otro estudio plantea el uso de un VSM para determinar las mudas o desperdicios en la planta y la aplicación de herramientas *lean*, tales como 5S, SMED, *jidōka* y justo a tiempo (Gunaki et al., 2022). Los resultados de este estudio brindan el respaldo a lo que se logró en el estudio de Gunaki et al. (2022), en relación con la implementación de instrumentos de optimización que permitan incrementar el porcentaje de pedidos perfectos, lo que influencia en la reducción del índice de devoluciones de pedidos errados a un máximo del 7 %.

Al realizar el contraste de las hipótesis, se aceptó la hipótesis alternativa que indica la presencia de una diferencia relevante en el porcentaje de devoluciones de los pedidos errados antes y después de implementadas las mejoras. Por lo tanto, se puede concluir que la estrategia es eficaz y se logra reducir el porcentaje de devoluciones de pedidos errados.

CONCLUSIONES

La implementación inicial de la metodología *lean*, conocida como las 5S, ha permitido eliminar aquellas devoluciones que se producen por algunos productos que se encuentran con fecha próxima de vencimiento y aquellas por productos errados a la hora de preparar cada requerimiento. Esto se debe a las mejoras planteadas en las condiciones y áreas de trabajo, con lo que se logró disminuir el porcentaje de devoluciones de un 14 % a un 11,96 %.

Al implementar la segunda herramienta (SMED), se pudo incrementar el porcentaje de pedidos atendidos, el cual se relaciona con el tiempo de preparación de los pedidos, lo que, a su vez, no presenta errores. Con ello se redujo el tiempo del proceso productivo, lo que influyó en la entrega a tiempo de los pedidos para evitar que estos sean devueltos por demoras en las entregas. De esta manera, se disminuyó el porcentaje de devoluciones de un 11,96 % a un 9,56 %.

La última herramienta que se implementó fue la metodología de *kaizen*. Con esta se logró incrementar aún más el porcentaje de pedidos atendidos y el tiempo de validación y distribución de los productos en las cajas para que luego estos sean embalados. Además, se eliminaron los pedidos errados por productos que pertenecen a lotes distintos, con diferente presentación, mal ubicados, entre otros. Se logró disminuir el porcentaje de devoluciones de pedidos de un 9,56 % a un 7 %.

Finalmente, se pudo evidenciar que los diferentes factores que generan el incremento de devoluciones de pedidos errados por parte de los clientes se vieron influenciados por la aplicación de herramientas *lean*, tales como son las 5S, SMED y *kaizen*. Con ello, se logró disminuir el porcentaje de devoluciones de pedidos errados de un 14 % a un 7 % luego de la implementación.

CONFLICTOS DE INTERÉS

El autor declara no tener conflictos de interés.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

Melina Carrillo: investigación, análisis formal, redacción (borrador original), redacción (revisión y edición).

REFERENCIAS

- Ajuria, J., Arambarri, J., & Rojas, J. (2023). Metodología de transformación digital para incrementar la competitividad de las pymes de logística ligera en el Perú. *Revista Industrial Data*, 26(1), 63-90. <https://doi.org/10.15381/idata.v26i1.23745>
- Arica-Hernandez, M., Llagas-Llontop, S., & Khaburzaniya, I. (2022). Implementation of lean manufacturing principles to increase productivity in SMEs in the manufacturing sector of clothing. En *3rd International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management* (pp. 162-166). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3524338.3524363>
- Asociación Nacional de Laboratorios Farmacéuticos. (2024). *Disponibilidad de productos farmacéuticos*. <https://alafarpe.org.pe/disponibilidad-de-productos-farmaceuticos>
- Bian, Y., & Xiao, T. (2025). Returns management in a supply chain considering freight insurance and consumer disappointment aversion. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 195, 103975. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2025.103975>
- Bravo, J. (2023). Aplicación de herramientas *lean manufacturing* (5S, *andon* y tiempo estándar) para el aumento de la productividad en el área de producción de una empresa metalmecánica. *Revista Industrial Data*, 26(1), 217-245. <https://doi.org/10.15381/idata.v26i1.24580>
- Büyükoçkan, K., Gürsoy, B., Özçelik, G., & Faruk, O. (2025). An optimization model and customized solution approaches for in-plant logistic problem within the context

- of lean management. *Computers & Industrial Engineering*, 200, 110832. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110832>
- Dias, J., Pinto, L., Gonçalves, M., Silva, F., & Ares, E. (2019). Analysis of an order fulfilment process at a metalwork company using different lean methodologies. *Procedia Manufacturing*, 41(1), 399-406. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.09.025>
- Frank, A., Sturgeon, T., Benitez, G., Marodin, G., & Ferreira e Cunha, S. (2025). How lean and industry 4.0 affect worker outcomes and operational performance: A quantitative assessment of competing models. *International Journal of Production Economics*, 279, 109475. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2024.109475>
- Gómez, G., Álvarez, A., & Sarmiento, J. (2025). Proyectos preliminares relacionados con LC, BIM e IA en la industria de construcción. *Revista Ingeniería y Competitividad*, 24(1). <https://doi.org/10.25100/iyc.v27i1.14401>
- Gunaki, P., Devaraj, S., & Patil, S. (2022). Process optimization by value stream mapping. *Materials Today: Proceedings*, 54(2), 251-254. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.304>
- Haro, A., Martínez, E., Chango, T., Zambrano, T., & Zambrano, M. (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>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw Hill.
- Iparraguirre, G., & Torres, G. (2023). *Lean manufacturing* como metodología para el aumento de la productividad empresarial: una revisión sistemática. *Revista Científica Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 10(2), 61-68. <https://doi.org/10.26495/icti.v10i2.2650>
- Jadidi, O., Cavalieri, S., & Firouzi, F. (2024). Supplier selection and order allocation problem under demand and supply uncertainty with return policy. *Applied Mathematical Modelling*, 133(1), 65-78. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2024.05.014>
- Khan, R., Talha, M., Sarwar, G., Haider, Y., Sarwar, U., Akbar, A., & Umair, M. (2022). The current status of lean manufacturing in small, medium and large scale manufacturing companies. *Journal of Applied Engineering Science*, 20(3), 707-715. <https://doi.org/10.5937/jaes0-35761>
- Khouja, M., & Hammami, R. (2023). Optimizing price, order quantity, and return policy in the presence of consumer opportunistic behavior for online retailers. *European Journal of Operational Research*, 309(2), 683-703. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2023.01.035>

- Muñoz, C. (2011). *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis* (2.ª ed.). Pearson Educación.
- Naranjo, S., & Gutiérrez, E. (2024). Reingeniería en el proceso de medición de datos maestros. *Revista Industrial Data*, 27(1), 69-88. <https://doi.org/10.15381/idata.v27i1.20817>
- Ortiz, J., Bancovich, A., Candia, T., Huayanay, L., & Salas, J. (2023). Método de aplicación de la herramienta *value stream mapping* para aumentar la competitividad en una empresa textil y de confecciones. *Revista Industrial Data*, 26(1), 33-61. <https://doi.org/10.15381/idata.v26i1.22874>
- Ricra, M., & Valenzuela, A. (2023). Herramientas *lean* en la gestión de operaciones aplicado a las empresas de confección de prendas de algodón orgánico. *Revista de Investigación Multidisciplinaria CTS Café*, 7(19), 3-17. <https://ctscafe.pe/index.php/ctscafe/article/view/235>
- Vara, A. (2012). *Los 7 pasos para una tesis exitosa*. Universidad San Martín de Porres.

IMPLEMENTACIÓN DE INDICADORES DE LA MANUFACTURA ESBELTA: EFICIENCIA GLOBAL DE LOS EQUIPOS Y LAS SEIS GRANDES PÉRDIDAS DEL MANTENIMIENTO EN LA EMPRESA PACK-ISI

ERICK URIEL MORALES CRUZ

<https://orcid.org/0009-0008-2071-9713>

Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería,
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México

MELINA PÉREZ CASTELÁN

<https://orcid.org/0009-0000-4050-9678>

Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería,
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México

LIDIA RAMÍREZ QUINTANILLA

<https://orcid.org/0009-0006-6270-0469>

Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería,
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México

SERGIO BLAS RAMÍREZ REYNA

<https://orcid.org/0000-0003-0827-7074>

Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería,
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México

Recibido: 9 de febrero del 2025 / Aceptado: 7 de marzo del 2025

Publicado: 10 de junio del 2025

<https://doi.org/10.26439/ing.ind2025.n48.7750>

RESUMEN. El objetivo de esta investigación fue evaluar la eficiencia global de los equipos y las seis grandes pérdidas en el mantenimiento de una máquina peletizadora de una empresa del sector plástico. La evaluación se llevó a cabo entre el 5 y el 10 de agosto

Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

* Autor de correspondencia

Correos electrónicos en orden de aparición: erick_morales@uaeh.edu.mx, melinap@uaeh.edu.mx, lidia_ramirez@uaeh.edu.mx, sramirez@uaeh.edu.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).

del 2024. Para ello, se desarrolló un análisis de causa raíz que permitió establecer un plan de mejora. Los resultados señalaron una eficiencia global de equipos por debajo del 80 %, es decir, no alcanzaba el estatus de clase mundial. Además, se encontró que las paradas no programadas y menores fueron las responsables en la reducción de la eficiencia global. Finalmente, el análisis de causa raíz permitió establecer acciones que redujeron tiempos muertos, paros no programados y producto fuera de especificación, lo que incrementó la calidad y productividad.

PALABRAS CLAVE: gestión / mantenimiento / OEE / disponibilidad / *lean* / calidad / productividad

IMPLEMENTATION OF LEAN MANUFACTURING INDICATORS: OVERALL EQUIPMENT EFFICIENCY AND THE SIX MAJOR LOSSES OF MAINTENANCE AT PACK-ISI COMPANY

ABSTRACT. The purpose of this study was to assess both the overall equipment efficiency (OEE) and the six major maintenance losses in a pelletizing machine owned by a plastics company. An improvement plan was established through the development of a root cause analysis. The investigation was conducted between August 5 and 10, 2024. The results indicated an OEE below 80 %, not reaching world class status. It was found that unscheduled and minor stops were responsible for the reduction in global efficiency. The root cause analysis allowed us to establish actions that reduced downtime, unscheduled stoppages, and out-of-specification products, thus increasing quality and productivity.

KEYWORDS: management / maintenance / OEE / availability / *lean* / quality / productivity

INTRODUCCIÓN

La administración del mantenimiento es una actividad clave para cualquier empresa. Este departamento juega un rol muy importante, ya que, gracias a la disponibilidad y rendimiento de los equipos, el proceso productivo se puede realizar correctamente. Por ello, un diagnóstico adecuado del estado actual del sistema puede llevarse a cabo empleando diferentes herramientas de clase mundial, lo que incrementa la calidad, productividad y satisfacción de los clientes (Cruz Álvarez, 2004).

Como respuesta a la necesidad de una filosofía en la gestión y administración del mantenimiento, surge el *total productive maintenance* (TPM). Como su nombre lo indica, consiste en buscar que los trabajadores tengan la capacidad de realizar mantenimientos autónomos, con énfasis en el desarrollo de actividades durante la producción para minimizar paros o problemas de producción considerando todos los aspectos del proceso, incluso el factor humano (Ben-Daya et al., 2009).

Existen varias metodologías que pueden incrementar la eficiencia de los equipos derivados del TPM, como son la manufactura esbelta, las 5S, la eficiencia global de equipos (*overall equipment effectiveness*, OEE), el mantenimiento autónomo, entre otras (Correia Pinto et al. 2020). Estas se enfocan en la eliminación de los seis grandes desperdicios en los sistemas productivos (Luna Galarza & Cerrón Rojas, 2019), los cuales se desarrollan más adelante (véase la Tabla 1).

Debido a que el principal objetivo del TPM es maximizar la eficiencia de los equipos, se establecieron distintos indicadores para monitorear sistemas de distintos tipos y medir su eficiencia y eficacia respecto de la gestión del mantenimiento (Ahuja & Khamba, 2008; Jain et al., 2014). Uno de los más importantes y ampliamente empleados es el OEE debido, principalmente, a su versatilidad y fácil interpretación (Espinoza Pinedo, 2021).

Se ha empleado la OEE como una medida de la productividad de sistemas eficientes de manufactura a partir de sus componentes como indicativo del nivel de "excelencia operacional" (Ingemansson, 2004). Si bien no existe un consenso acerca del porcentaje de OEE que convierte a un sistema TPM de clase mundial, se suele considerar que estar por encima del 85 % es un nivel aceptable para la cultura *lean* (Muchiri & Pintelon, 2008; Parida et al., 2015).

Dentro del cálculo del OEE se ha podido identificar lo que se conoce como las seis principales pérdidas de disponibilidad y rendimiento en los sistemas de mantenimiento, conocidas también como las seis grandes pérdidas del mantenimiento, las cuales pueden ser ordenadas en los tres aspectos clave que componen el OEE (Nakajima, 1988), tal como se muestra en la ecuación 1.

$$OEE = D \times R \times C \quad (1)$$

$$D = \text{tiempo total de jornada} - \text{paros programados} - \text{paros no programados} \quad (1.1)$$

$$R = \frac{\text{producción teórica}}{\text{producción real}} \quad (1.2)$$

$$C = \frac{(\text{producción total} - \text{producción que no cumple especificaciones})}{\text{producción total}} \quad (1.3)$$

Donde:

D = disponibilidad (tiempo total disponible el total de horas teóricas de trabajo)

R = rendimiento (relación entre las piezas reales producidas respecto a las teóricas)

C = calidad (porcentaje de piezas producidas que cumplen con las especificaciones del cliente)

Se ha destacado al indicador OEE como el ideal para monitorear el funcionamiento de un sistema de manufactura, ya que se enfoca en la identificación y determinación de las seis grandes pérdidas de los sistemas productivos y porque enfatiza que la productividad, disponibilidad y calidad permiten conocer el estado operacional de equipos o líneas de producción. Además, al ser un indicador de desempeño, su aplicación se suele enfocar en el control; sin embargo, al permitir enfocar esfuerzos y recursos, es muy útil como diagnóstico del estado actual del sistema de mantenimiento (Bamber et al., 2003). Asimismo, el OEE es un indicador eficaz en la medición de la gestión del mantenimiento; sin embargo, se ha destacado la importancia de dividir los componentes del OEE en las conocidas seis grandes pérdidas del mantenimiento para un mejor monitoreo y control de los indicadores del sistema de mantenimiento (Romanenko & Baybus, 2017) (véase la Tabla 1).

Tabla 1*Las seis grandes pérdidas del mantenimiento*

Número	Aspecto del OEE	Pérdida	Descripción
1	Pérdidas de disponibilidad	Pérdidas por paradas no programadas	Fallas en los equipos que requieren de un mantenimiento correctivo. Se pueden clasificar en comunes y especiales. Las primeras son esperadas después de un cierto tiempo de operación, mientras que las segundas no se esperan y pueden ser ocasionadas por fallas en los equipos, condiciones deficientes de operación, etcétera.
2		Pérdidas por arranque o configuración de maquinaria	Todas aquellas paradas "menores" derivadas del proceso de manufactura suelen presentarse en los cambios de dados, moldes, troqueles, entre otros. Se suelen emplear herramientas como el SMED (<i>single minute exchange or die</i>) para su eliminación (Braglia et al., 2020).
3	Pérdidas de rendimiento	Pérdidas por paradas menores	Paradas que no suelen ser mayores a diez minutos. Estas no corresponden a un paro del equipo, tampoco se relacionan con pérdidas de arranque o configuración, sino que constituyen paros relacionados con falta de materia prima, cuellos de botella en el proceso o, incluso, "averías" no significativas en los equipos.
4		Pérdidas de velocidad	Pérdidas en velocidad de producción que, en caso de que el equipo opere bajo sus condiciones estándares o máximas de operación, pudieran generar un sacrificio en calidad por fallas en calibración o desajustes, incluso en daños por desgaste en los componentes principales.
5	Pérdidas de calidad	Pérdidas por defectos	Fallas en los equipos que requieren de un mantenimiento correctivo. Se pueden clasificar en comunes y especiales. Las primeras son esperadas después de un cierto tiempo de operación, mientras que las segundas no se esperan y pueden ser ocasionadas por fallas de fatiga en los equipos, condiciones deficientes de operación, etcétera. Es necesario investigar siempre la causa para eliminarla.
6		Pérdidas por reducción de desempeño	Pérdidas de rendimiento derivadas del <i>scrap</i> o desecho, los cuales incrementan costos y tiempo de producir nuevamente.

La industria del plástico en México enfrenta grandes desafíos derivados de los constantes cambios en tecnologías emergentes, materiales, métodos, maquinaria y productos. Por ello, la correcta implementación de herramientas de clase mundial garantiza su permanencia y competitividad a partir de la reducción de tiempos de entrega (Mendoza Coaricona & Cordova Pilco, 2024).

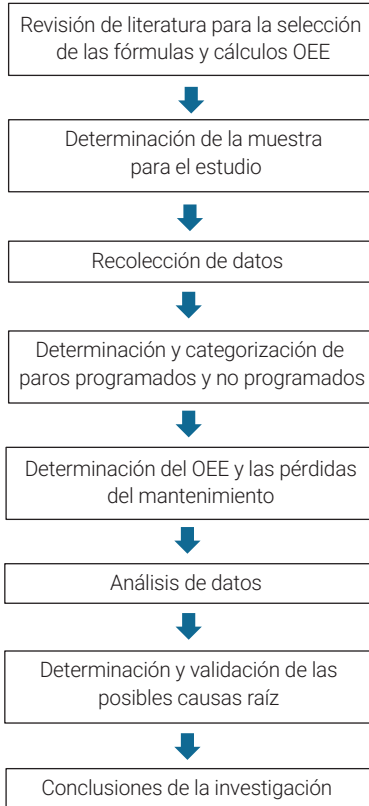
El uso de las herramientas de la cultura *lean* se ha vuelto una necesidad para contar con sistemas competitivos y efectivos en entornos cambiantes. La industria plástica, en general, no suele satisfacer las órdenes de producción y presenta demoras debido a una baja capacidad de producción, lo que ocasiona un incremento de costos por retrabajos o tiempo extra (Quiroz-Flores & Vega-Alvites, 2022). La correcta aplicación de indicadores de clase mundial, como el OEE y la implementación de acciones de mejora, permite reducir o eliminar paros no programados y maximizar la eficiencia del proceso, lo que permite a la empresa cumplir con su producción planeada y evitar pérdidas (Poves-Calderno et al., 2019).

Por lo anterior, el propósito de esta investigación fue evaluar e incrementar el OEE para reducir las seis grandes pérdidas de los equipos en una máquina peletizadora, a partir de una investigación en sitio y el desarrollo de un plan de mejora que permitiera reducir, controlar o eliminar las seis grandes pérdidas en la producción para mejorar la gestión del mantenimiento (Canahua Apaza, 2021). La contribución principal de este artículo es aportar en la poca literatura enfocada en el cálculo individual de cada pérdida del mantenimiento y la determinación de causas raíz para el incremento del OEE.

METODOLOGÍA

La metodología que se empleó corresponde a una investigación en sitio. Inicialmente, se diseñaron los tipos de paros programados y no programados con base en los requerimientos de la organización y se les asignó un tiempo estándar para medirlo como indicador de desempeño. Algunos indicadores tipo matriz se han diseñado para el monitoreo del mantenimiento (Ferreira et al., 2019); sin embargo, para la presente investigación, el OEE y las seis grandes pérdidas se emplearon a partir de la observación directa en campo.

Los datos presentados se recolectaron durante la semana del 5 al 10 de agosto del 2024. Se eligió esta semana como muestra representativa debido a que, de acuerdo con el plan maestro de producción y la gerencia, era el momento en el que se presentaba la demanda más estable a lo largo del año. Asimismo, dicha semana de muestra permitió un diagnóstico inicial del nivel de cumplimiento de los indicadores de clase mundial (Stamatis, 2017). Además, se eligió la máquina peletizadora debido a que el 70 % de la producción total de reciclaje de la planta era producida por este equipo. La investigación se llevó a cabo al aplicar la estructura que se muestra en la Figura 1.

Figura 1*Procedimiento metodológico*

Para la correcta aplicación del OEE, se deben comprender y documentar las pérdidas de rendimiento a partir del monitoreo de los paros, disponibilidad de los equipos, tiempo ciclo, piezas producidas y calidad. Dentro de las precisiones necesarias para el correcto monitoreo de los indicadores en la empresa estudiada, se clasificaron los paros en dos tipos (Tambo Calvera & Rodríguez Huaynalaya, 2023):

- Paros programados: todos aquellos que se contemplan en el plan maestro y agregado de producción (véase la Tabla 2)
- Paros no programados: aquellos que no se contemplan y afectan directamente al indicador de disponibilidad y rendimiento de los equipos (véase la Tabla 3)

Tabla 2
Paros programados

Código	Descripción	Observaciones
P1	Comida	Tiempo normal programado por turno para que los trabajadores puedan tomar sus alimentos
P2	Reunión	Tiempo invertido en las juntas semanales programadas por la gerencia
P3	<i>Set up time</i>	Tiempo de puesta en marcha de los equipos
P4	Rutina 5S	Tiempo establecido para llevar a cabo las tareas de las 5S
P5	Mantenimiento preventivo	Tiempo establecido para llevar a cabo el mantenimiento del equipo con base en el programa anual de mantenimiento
P6	Capacitación	Tiempo establecido para la capacitación en un tema en concreto
P7	Otro	Cualquier paro que se programe con base en las necesidades de la compañía

Tabla 3
Paros no programados

Código	Descripción	Observaciones
O1	Producto no conforme	Tiempo de retrabajo derivado de producto que no cumple con especificación, pero que puede ser reprocesado
O2	Junta de comunicación	Tiempo invertido en las juntas semanales programadas por la gerencia
O3	Falta de instrucción de trabajo	Tiempo muerto debido a que no se especifican las características del proceso
O4	Rutina 5S	Tiempo establecido para llevar a cabo las tareas de 5S
M1	Mantenimiento preventivo	Tiempo establecido para llevar a cabo el mantenimiento del equipo con base en el programa anual de mantenimiento
M2	Capacitación	Algunas veces se necesita interpolar un juicio, porque no hay una palabra que describa la relación entre los elementos
M3	Otro	Cualquier paro que se programe con base en las necesidades de la compañía
M4	Material inadecuado para la operación	Material que no cumple con las especificaciones del proceso
L1	Falta de personal	Paro no programado derivado del ausentismo del personal
F1	Falla de resistencia	Fallo en la resistencia eléctrica de los equipos
F2	Falla de cabezal	Falla en el cabezal del equipo al presentarse inyección inadecuada

(continúa)

(continuación)

Código	Descripción	Observaciones
F3	Falla de <i>chiller</i>	Falla en el equipo de refrigeración del equipo
F4	Falla de compresor	Pérdida de presión de aire por fallos en el compresor
F5	Falla de flecha	Daños en la flecha ocasionados por vibración o desgaste
F6	Falla de bomba de agua	Pérdida de presión de agua debido a fallos en la bomba de agua
F7	Falla de centrífuga	Falla en la centrífuga del equipo
F8	Falla de motor	Falla en el motor eléctrico del equipo que provoca reducción de velocidad y paros
F9	Falla en banda	Falla en la banda por desgaste o rompimiento
F10	Otra falla no programada	Cualquiera no especificada anteriormente

La empresa da seguimiento de manera semanal a los paros no programados para poder ir mejorando en sus indicadores. Estos paros se incluyen en el reporte de incidencias, al igual que aquellos paros del tipo programado que presentaron un tiempo mayor al establecido por la gerencia.

Para la determinación del OEE en la máquina peletizadora, se tomaron las siguientes consideraciones:

- Se trabajan dos turnos con un horario de 7:00 a. m. a 3:00 p. m. y de 3:00 p. m. a 11:00 p. m. de lunes a sábado, cuyo tiempo teórico de producción es de 5760 minutos totales en los seis días.
- Se dispone de 30 minutos para comer por turno sin tiempo de producción.
- Todos los días se realiza una junta de arranque de 10 minutos y, por rutina 5S, al término del turno de trabajo, se emplean 10 minutos para aplicar la lista de cotejo correspondiente.
- El tiempo ciclo para la máquina de peletizado se estableció en 400 kg/h; sin embargo, la máquina estaba diseñada para procesar 500 kg/h.
- Al inicio de la jornada laboral, se dispone de 20 minutos para el precalentamiento de la máquina.
- Se cuantificó la producción diaria de la máquina peletizadora en kilogramos por turno en cada uno de los cinco días.
- La merma se estableció con base en la producción que no puede ser reprocesada, misma que se registró por turno y día.

Una vez recolectada la información se emplearon las ecuaciones (2) a (8) correspondientes a las seis grandes pérdidas:

$$PNP = \frac{\text{tiempo de paradas de equipos}}{TNP} \times 100 \quad (2)$$

$$TNP = TD - PP - NP \quad (3)$$

$$PAM = \frac{\text{tiempo perdido por puesta en marcha}}{TNP} \times 100 \quad (4)$$

$$PM = \frac{\text{producción planeada} - \text{producción real}}{TNP} \times TCA \times 100 \quad (5)$$

$$PV = \frac{(TCA - TCI) * \text{producción real}}{TNP} \times 100 \quad (6)$$

$$PD = \frac{\text{total de piezas defectuosas} * TCI}{TNP} \times 100 \quad (7)$$

$$PRD = \frac{\text{scrap} * TCI}{TNP} \times 100 \quad (8)$$

Donde:

PNP = pérdida por paradas no programadas (minutos)

PP = paros programados (minutos)

NP = paros no programados (minutos)

TCA = tiempo ciclo actual del proceso (minutos/kilogramos)

TCI = tiempo ciclo ideal (minutos/kilogramos)

TD = tiempo disponible (minutos)

TNP = tiempo neto de producción (minutos)

PV = pérdidas por velocidad (minutos)

PD = pérdidas por defectos (minutos)

PM = pérdidas por paradas menores (minutos)

PAM = pérdidas por arranque de maquinaria (minutos)

PRD = pérdidas por reducción de desempeño (minutos)

Una vez calculado el OEE y las seis grandes pérdidas, se llevó a cabo una lluvia de ideas para establecer las causas probables de los problemas encontrados. Para ello, se empleó un diagrama de causa-efecto, ya que este diagrama permite resumir el análisis de los factores causales que impactan negativamente sobre la situación del mantenimiento (Benito Churo & Mestanza Arévalo, 2022). Además, permite establecer

acciones, justificarlas, asignar responsabilidades, fechas de implementación, así como evaluar los resultados y determinar si corresponden a causas raíz o no (López-Coronel et al., 2023).

RESULTADOS

A partir de la categorización de paros propuesta en la presente investigación, se encontraron los paros presentados en la Tabla 4. Como se puede apreciar, ocurrieron cuatro paros no programados y dos programados; sin embargo, es importante destacar que el paro O4 del día 7 corresponde a un exceso de tiempo en la implementación de la rutina 5S, una gran área de oportunidad para la organización debido a que no se cumple con el estándar de tiempo programado. El paro que representó la mayor cantidad de tiempo muerto ocurrió el día 5, el cual correspondía a M3 dentro de la categoría "Otro", ya que guarda relación con la seguridad en el trabajo. El paro O3 se presentó en dos ocasiones con un total de 107 minutos perdidos.

Tabla 4

Paros presentados en la semana

Tipo de paro	Código	Descripción	Tiempo	Aspecto de indicador
No programado	O3	Falta de instrucción de trabajo: ocurrió el día 5 debido a que el trabajador no tenía las especificaciones de la orden de producción, lo que provocó un retraso grave.	90 minutos	Tiempo de paradas de equipos
No programado	L1	Falta de personal: el día 6 se ausentaron dos trabajadores, lo que ocasionó un paro en la producción derivado del rebalanceo en la carga de trabajo que significó treinta y cinco minutos por trabajador.	70 minutos	Tiempo de paradas de equipos
Programado	O4	Rutina 5S: el día 7 ocurrió un retraso de doce minutos debido a una incorrecta puesta en marcha del equipo al no implementar de manera adecuada la rutina 5S.	12 minutos	Tiempo perdido por puesta en marcha
No programado	M3	Otro: el día 5, alrededor de las 11:22 a. m., un trabajador sufrió un accidente no incapacitante (quemadura), lo que ocasionó que no trabajara el resto del turno y ocasionó un retraso de dos horas producto de la reasignación de actividades.	120 minutos	Tiempo de paradas de equipos

(continúa)

(continuación)

Tipo de paro	Código	Descripción	Tiempo	Aspecto de indicador
No programado	F10	Otra falla no programada: el departamento de calidad encontró un lote fuera de "especificación" que representaba 70 kg de merma de un total de 5844 kg en los dos turnos del día 6. Lo mismo ocurrió los días 8 y 9, con un total de 95 kg de una producción de 7983 kg.	Tiempo ciclo actual: 400 kg/h. 165 kg equivalen a 24,8 min	Pérdidas por defectos
Programado	O3	Set up time: el tiempo de arranque de la máquina de peletizado fue de dieciocho minutos para el precalentamiento y cuatro minutos para la programación. Debido a una pérdida de velocidad, el día 10 este proceso se retrasó a un total de treinta y nueve minutos, lo que representó un paro "programado" extra de diecisiete minutos.	17 minutos	Tiempo perdido por puesta en marcha

Cálculo del OEE

En la Tabla 5, se presentan los resultados de producción teórica y real, así como la merma del equipo de peletizado por turno en la semana del 5 al 10 de agosto del 2024.

Tabla 5

Producción y merma por turno en la semana del 5 al 10 de agosto del 2024

Aspecto	5 de agosto	6 de agosto	7 de agosto	8 de agosto	9 de agosto	10 de agosto	Total semanal
Producción turno matutino (kg). Máquina de peletizado	2062	2067	2187	2576	2798	2386	14 076
Merma turno matutino (kg)	21	27	23	24	15	12	122 000
Producción turno vespertino (kg). Máquina de peletizado	921	1981	2675	2381	2236	2189	12 383
Merma turno vespertino (kg)	47	43	41	31	20	11	193 000
Total de producción	2983	4048	4862	4957	5034	4575	26 459 000
Total de merma	68	70	64	55	35	23	315 000

Se determinó el OEE de cada día de producción para poder monitorear de manera más detallada el indicador. Como lo muestra la Tabla 6, el valor más bajo de la semana (46 %) ocurrió el día 5 de agosto. Los valores para los días restantes oscilaron entre 62 % y 78 % y fue el día 9 el valor más alto debido, principalmente, a que ocurrió un solo paro no programado; sin embargo, ningún día de la semana alcanzó el 85 % en OEE, indicativo de que la organización fuera de clase mundial. Como se muestra en la Figura 2, la

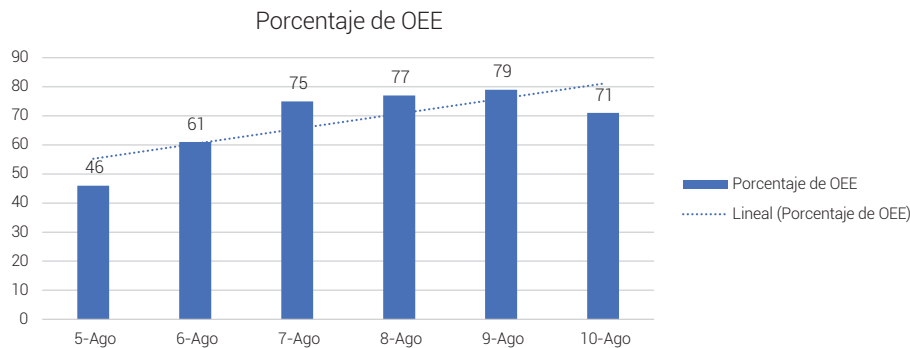
disponibilidad osciló alrededor del 88 % (menos para el día 5, que fue del 67 %), el cual es un valor elevado para este aspecto. El rendimiento promedio varió entre el 70 % y el 89 %; por tanto, se debió prestar especial atención a este indicador, ya que no dependía de los paros programados o no programados. Respecto a la calidad, el valor se encontró por encima del 98 %, lo que cumplía con lo establecido por la gerencia (> 97 %).

Tabla 6
Determinación del OEE por día

Fecha	Tiempo total de la jornada (min)	Paros totales (min)	D (%)	Producción teórica (kg)	Producción real (kg)	R (%)	Producción no cumple (kg)	C (%)	OEE = D * R * C
5 de agosto	960	320,00	67	4267	2983	70	68	98	46
6 de agosto	960	190,50	80	5230	4018	77	70	98	61
7 de agosto	960	122,00	87	5587	4862	87	64	99	75
8 de agosto	960	118,25	88	5612	4957	88	55	99	77
9 de agosto	960	115,25	88	5632	5034	89	35	99	78
10 de agosto	960	127,00	87	5553	4575	82	23	99	71

Nota. D = disponibilidad; R = rendimiento; C = calidad.

Figura 2
Porcentaje de OEE diario de la semana del 5 al 10 de agosto del 2024



Cálculo de las seis grandes pérdidas del mantenimiento

En el cálculo se ha considerado la semana laboral, ya que es más fácil llevar un control semanal y porque algunas pérdidas no ocurren todos los días. La información recopilada para el cálculo de las pérdidas se presenta en la Tabla 7.

Tabla 7
Tiempos empleados para el cálculo de las seis pérdidas

Aspecto	Valor	Unidades
Tiempo de parada de equipos	993	min
Tiempo disponible (TD)	5760	min
Paros programados (PP)	660	min
Paros no programados (NP)	333	min
Tiempo neto de producción (TNP)	4767	min
Tiempo perdido por puesta en marcha	137	min
Producción planeada	31 781	kg
Producción real	26 459	kg
Tiempo del ciclo actual (TCA)	0,15	min/kg
Tiempo del ciclo ideal (TCI)	0,18	min/kg
Total de piezas defectuosas	315	kg
Scrap	315	kg

Los resultados de las pérdidas se muestran en la Tabla 8. Como se aprecia, el mayor problema radica en las paradas no programadas con un 21 % de tiempo muerto. Además, se han reportado disponibilidades mayores a 94 %, lo que elimina las paradas menores que, en conjunto, constituyen parte de las paradas no programadas (Mussche, 2021). Las pérdidas por arranque de maquinaria y paradas menores constituyeron ambas un 17 % de tiempo, lo cual empata con la relación entre las pérdidas de rendimiento por reducir los tiempos de ciclo y paros menores no programados. Una estrategia muy útil ha sido focalizar los equipos e implementar estrategias de mantenimiento *lean* aplicando las 5S eficientemente (Zhou et al., 2020). Las pérdidas por defectos fueron menos del 1 %, lo cual se encuentra por debajo del 3 % aceptado por la empresa, mientras que las pérdidas por retrabajos también se encontraron dentro de especificaciones.

Tabla 8*Resultados de las seis grandes pérdidas del mantenimiento*

Aspecto	Semanal (porcentaje)
Paradas no programadas	21,0
Pérdidas por arranque de maquinaria	3,0
Paradas menores	17,0
Pérdidas de velocidad	17,0
Pérdidas por defectos	0,8
Pérdidas por retrabajos	1,0

Validación de las causas raíz

Para la identificación de las causas raíz, se llevó a cabo un análisis empleando la metodología 5W + 1H (Nusraningrum & Arifin, 2018) con la finalidad de poder comprobar que la acción de mejora propuesta constituye una causa raíz o no. La Figura 3 muestra el diagrama Ishikawa de causas y subcausas que podrían haber ocasionado el bajo rendimiento de los equipos. Es importante destacar que solo podemos validar el origen de una causa al implementar de manera correcta la acción de mejora (Hardono, 2020). La validación detallada de causas probables se aprecia en la Tabla 9.

Figura 3
Diagrama de Ishikawa de las posibles causas que ocasionan bajo rendimiento

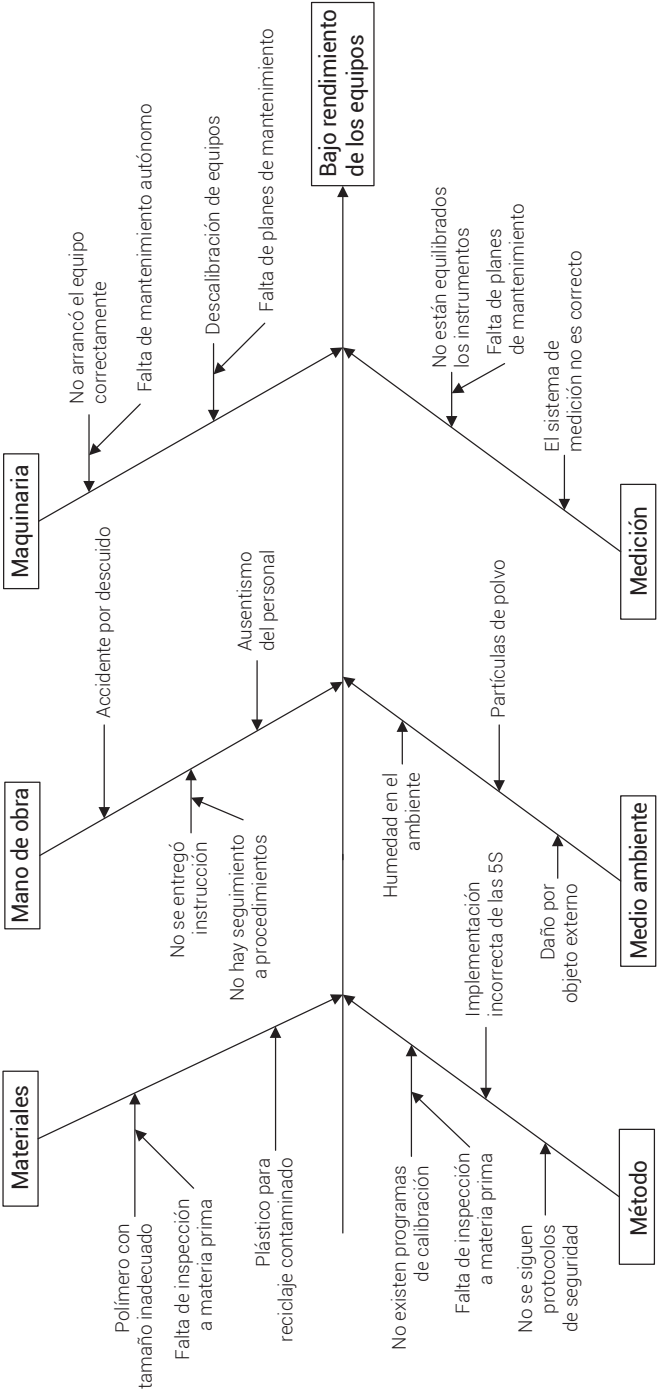


Tabla 9
Validación de causas probables

Causa a validar	¿Acción a realizar?	¿Por qué y cómo?	¿Quién y cuándo?	Resultados de las acciones	Conclusiones de la relación causa/efecto
Falla no programada en el equipo: descalibración	Diseñar un procedimiento de calibración	Se encontró producto fuera de especificación; por lo tanto, se diseñó un procedimiento detallado que cumpla con los criterios de especificación de calidad.	Supervisión de mantenimiento, 27 de agosto	Se redujo el producto fuera de especificación en un 37 %.	Al no contar con un procedimiento para la correcta calibración de los equipos, no se controla ni elimina el porcentaje de merma. Es causa raíz.
No se llevan a cabo operaciones de calibración del equipo	Aplicar el procedimiento OP-001-MMTO-00	Se encontró producto fuera de especificación.	Supervisión de mantenimiento, 29 de agosto	Se llevó a cabo una capacitación para la implementación del procedimiento.	Al aplicar el procedimiento correctamente, se elimina el problema. No es causa raíz debido a que es resultado de la falta de un procedimiento.
Accidente incapacitante por falta de capacitación	Llevar a cabo la investigación del accidente con base en la NOM-019-STPS-2011 y realizar una matriz IPER por puesto de trabajo	Un trabajador sufrió una quemadura que resultó en un accidente no incapacitante; sin embargo, se realizó una investigación de peligros y evaluación de riesgos por puesto de trabajo para establecer medidas de seguridad.	Seguridad, Higiene y Ecología, 25 de octubre	Se establecieron protocolos de seguridad para evitar futuros accidentes. Se integraron juntas de cinco minutos en temas relacionados con seguridad para reforzar una cultura de trabajo seguro.	Los paros no programados y accidentes laborales impactan directamente a la disponibilidad, rendimiento y salud de los trabajadores. Es causa raíz.

(continúa)

(continuación)

Causa a validar	¿Acción a realizar?	¿Por qué y cómo?	¿Quién y cuándo?	Resultados de las acciones	Conclusiones de la relación causa/efecto
Implementación incorrecta de la rutina 5S	Llevar a cabo una capacitación sobre cómo realizar la rutina 5S correctamente	La rutina refuerza las actividades de mantenimiento. No realizarla en tiempo y forma afecta la disponibilidad de los equipos.	Supervisión de mantenimiento, 20 de octubre	Se llevó a cabo una evaluación y una práctica en las áreas de trabajo para reforzar la rutina 5S.	La reducción en velocidad y paros no programados derivados de una mala implementación en la rutina 5S es un problema por corregir. Es causa raíz.
Ausentismo del personal	Análisis e investigación de las principales causas de ausentismo en el personal a partir de un instrumento anónimo	Es necesario conocer las causas del ausentismo del personal, ya que impactan directamente en la productividad. Un cuestionario anónimo de motivación laboral es el instrumento adecuado para obtener información fiable.	Recursos Humanos, 15 de noviembre	Se determinaron las principales causas de ausentismo del personal, las cuales eran desconocidas para la organización.	El ausentismo del personal es un fenómeno que no se puede evitar, sin embargo, es importante conocer las causas para establecer acciones en la medida de lo posible. No es causa raíz.
No se entregó la instrucción de trabajo	Entregar el plan maestro de producción revisado con dos días de anticipación al supervisor de producción y los trabajadores	Al no entregar las instrucciones de trabajo en tiempo y forma se incrementa el tiempo muerto y se reduce la disponibilidad. Se debe entregar el plan de producción con un mínimo de cuarenta y ocho horas para realizar los ajustes correspondientes en la carga de trabajo	Planeación, 31 de agosto	Se redujo el tiempo muerto derivado de la espera de instrucciones.	El no contar con instrucciones claras impacta directamente en la disponibilidad y rendimiento. Es causa raíz.

(continúa)

(continuación)

Causa a validar	¿Acción a realizar?	¿Por qué y cómo?	¿Quién y cuándo?	Resultados de las acciones	Conclusiones de la relación causa/efecto
No se siguen los protocolos de seguridad	Establecer y dar seguimiento a una política de prevención de accidentes	La empresa reporta un número considerable de accidentes no incapacitantes anualmente. La alta dirección en conjunto con Recursos Humanos dará seguimiento a la campaña de salud y seguridad en el trabajo.	Dirección - Recursos Humanos, enero del 2025	Se arrancó con la campaña de involucramiento del personal.	El no seguir protocolos de seguridad ocasiona lesiones y accidentes, lo cual compromete no solo la integridad de los equipos, sino de los trabajadores. Es causa raíz.
No se realiza el arranque de equipo correctamente	Diseñar una lista de chequeo con los pasos para el correcto arranque del equipo	El retraso se debió a que no se siguieron los pasos para el correcto arranque. La lista de chequeo permite saber cuáles pasos se deben seguir.	Supervisión de mantenimiento, 20 de octubre	Una vez diseñada e implementada la lista de chequeo, se redujo el tiempo se arranque en tres minutos, por lo que se establece un nuevo estándar.	El arranque se llevaba a cabo de manera "manual", por lo cual existían problemas de arranque del equipo. Al establecer una lista de chequeo, el tiempo estándar disminuyó, incrementó la productividad y aumentó la disponibilidad. Es causa raíz.

Los resultados preliminares de la validación de causas probables permitieron reducir en un 37 % el producto fuera de especificación e implementar correctamente los procedimientos para la calibración de equipos, el arranque de la máquina peletizadora, un nuevo procedimiento estándar y una campaña de seguridad. Es importante mencionar que la seguridad industrial juega un papel crucial en la confiabilidad de los equipos, lo que garantiza procesos eficientes y la prevención de accidentes, los cuales comprometen la integridad de los trabajadores (Veloz Vargas, 2023).

DISCUSIÓN

El OEE reportado para la semana de estudio osciló entre 46 % y 78 %, con un valor promedio de 70 %. Se han reportado valores de OEE más bajos (< 33%) en sistemas de manufactura de bolsas plásticas con rendimientos y paros mayores a lo presentado en este estudio (Cabello Minaya & Rodríguez Flores, 2023); valores más grandes (48 %) para líneas de fabricación y comercialización de pegamento; incluso mayores (> 50%) para la industria automotriz (Gupta & Garg, 2012; Varela et al., 2023). Respecto a sistemas no productivos, se han reportado valores de OEE mayores que 62 % en sistemas de distribución de transporte (Muñoz-Villamizar et al., 2018).

En la mayor parte de la literatura, el área de oportunidad radica en la eficiencia de los equipos y la capacidad de la propia producción que se ve reducida debido al desgaste natural de los equipos y a la falta de mantenimiento. En la presente investigación se diseñaron e implementaron procedimientos y acciones enfocadas en integrar acciones correctivas y preventivas para la gestión del mantenimiento. Por ello, se recomienda a la gerencia el continuar con las medidas de corrección para realizar ajustes que garanticen su eficacia.

Por otro lado, los problemas relacionados con el ausentismo del personal, accidentes laborales y otras cuestiones ajenas al mantenimiento fueron atendidas con medidas correctivas no permanentes. Entonces, se requiere una investigación más profunda para establecer un plan de acción particular en estas áreas.

Dentro de las seis grandes pérdidas del mantenimiento, las paradas no programadas se encontraron por encima de lo reportado en otros casos (13 %); no obstante, se debe destacar que, gracias al plan de mejora, este indicador disminuyó y ahora se encuentra en proceso de mejora (Wannawiset & Tangjitsitharoen, 2019).

Las pérdidas por arranque de maquinaria (3 %) fueron más elevadas que lo presentado en otros estudios (0,9 %). Esto se debe a la incorrecta implementación de arranque de equipos, procedimientos e instrucciones de trabajo claras que permiten eliminar este tipo de pérdidas, así como una capacitación especializada (Carhuaricra Rojas & Colonio Camargo, 2023).

En el caso de las pérdidas por velocidad, estas fueron del 17 %. Coinciden con lo reportado para procesos de hilado (Martomo & Laksono, 2018), debido principalmente a la reducción en el tiempo ciclo. Se sugiere trabajar en un plan de mantenimiento autónomo para eliminar pérdidas de rendimiento (Castilla Janampa & Cueva Fuentes, 2021).

Las pérdidas por defectos (0,8 %) representaron un valor menor a lo reportado en otros trabajos (Caswito & Hidayat Sutawijaya, 2019), por lo que se cumplió con un estándar de clase mundial. Se sugiere dar seguimiento a este indicador sin acciones extraordinarias.

Por último, las pérdidas por retrabajos tuvieron un valor similar a lo reportado para procesos en máquinas de empaquetado de cemento (Muthalib et al., 2019). Cabe destacar que no existe mucha literatura respecto a las pérdidas en el mantenimiento para máquinas de peletizado; sin embargo, el desempeño de los equipos y la gestión del mantenimiento es similar a partir de la implementación de acciones de mejora encaminadas a incrementar el rendimiento y vida útil de los equipos.

Para el incremento de indicadores TPM, se han implementado herramientas *lean* en diferentes procesos de manufactura y han logrado un incrementado de OEE de 40 % a 61 % (Chiarini, 2015). Para el caso de la presente investigación, si bien se aplicaron las 5S como parte de la rutina diaria de mantenimiento, es importante utilizar otras herramientas como el SMED (Bhade & Hegde, 2020), análisis de modos y efecto de fallas (*failure mode and effect analysis*, AMEF) y eventos *kaizen* (Fam et al., 2018) para garantizar el cumplimiento de los indicadores a nivel clase mundial.

CONCLUSIONES

La industria del reciclaje de plásticos enfrenta grandes retos debido a que su sistema de producción es continuo, lo que significa que el rendimiento de los equipos es un factor clave para evitar retrasos en la producción y las entregas programadas. El departamento de mantenimiento es responsable de garantizar la confiabilidad de los equipos al eliminar paros no programados, pérdidas de rendimiento en los equipos y garantizar un nivel de calidad que cumpla con las especificaciones de los clientes.

Los indicadores de clase mundial, como el OEE y las seis grandes pérdidas del mantenimiento, son muy útiles al momento de monitorear el comportamiento de cualquier sistema de gestión del mantenimiento. Sus principales ventajas radican en que engloban una serie de aspectos que son medibles y cuantificables, por lo que son piezas fundamentales en la administración y gestión del mantenimiento industrial (Torres-Rodríguez et al., 2024). Asimismo, su versatilidad los convierte en indicadores ajustables para otro tipo de procesos o, incluso, para su modelación computacional (Foit et al., 2020).

La implementación de estrategias de mejora, a partir de un diagnóstico del nivel de gestión del mantenimiento, es clave para alcanzar el estándar mundial. Los resultados del estudio mostraron que el OEE fue menor a un 80 % con variaciones entre 46 % y 78 %. Un OEE menor a 80 % significa que la empresa no se encuentra en la categoría de clase mundial (OEE > 85 %). Se debe destacar la importancia de revisar el rendimiento del equipo debido a que la producción real se encuentra alejada de la producción teórica al presentar valores de rendimiento entre 70 % y 89 %, lo cual ya es preocupante, pues el tiempo ciclo ya se ha reducido. Respecto a la calidad, se cumple con el porcentaje máximo de merma establecido por la gerencia.

Por su parte, dentro de las seis grandes pérdidas del mantenimiento, las paradas no programadas representaron un 21 % del tiempo total activo en la semana; las pérdidas por arranque de maquinaria representaron un 3 % —ambas significan un valor elevado tomando en consideración que son tiempos muertos—; las paradas menores y pérdidas de velocidad representaron un 17 %, lo que debe ser revisado para incrementar el rendimiento del equipo; las pérdidas por defectos y retrabajos se encontraron por debajo del 1 %, lo cual es un buen estándar de calidad.

Las acciones propuestas se centraron en la detección de las causas raíz para impactar positivamente en el OEE y las seis grandes pérdidas. Se recomienda seguir con el monitoreo semanal y mensual de los indicadores del TPM, detectar áreas de mejora y establecer medidas de contención, corrección y prevención permanentes para que la empresa pueda alcanzar el porcentaje de OEE que la categorice como de clase mundial.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

Erick Morales: conceptualización, *data curation*, visualización, investigación, validación, metodología, escritura (borrador original) y edición. **Melina Pérez:** *data curation*, metodología, escritura, validación, investigación, análisis formal y recursos. **Lidia Ramírez:** investigación, adquisición de fondos, redacción, supervisión y gestión del proyecto. **Sergio Blas:** análisis formal, adquisición de fondos, supervisión, validación y edición.

REFERENCIAS

Ahuja, I. P. S., & Khamba, J. S. (2008). Total productive maintenance: Literature review and directions. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 25(7), 709-756. <http://dx.doi.org/10.1108/02656710810890890>

- Bamber, C. J., Castka, P., Sharp, J. M., & Motara, Y. (2003). Cross functional team working for overall equipment effectiveness (OEE). *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 9(3), 223-238. <http://dx.doi.org/10.1108/13552510310493684>
- Ben-Daya, M., Duffuaa, S. O., Raouf, A., Knezevic, J., & Ait-Kadi, D. (2009). *Handbook of maintenance management and engineering 7*. Springer.
- Benito Churo, L. A., & Mestanza Arévalo, C. J. (2022). *Mantenimiento autónomo para incrementar el OEE en la línea de mezcla de páprika en la empresa ICH, Lima 2022* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Institucional de la Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/97872>
- Bhade, S., & Hegde, S. (2020). Improvement of overall equipment efficiency of machine by SMED. *Materials Today: Proceedings*, 24(2), 463-472. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.298>
- Braglia, M., Dallasega, P., & Marrazzini, L. (2020). Overall construction productivity: A new lean metric to identify construction losses and analyse their causes in engineer-to-order construction supply chains. *Production Planning & Control*, 33(9-10), 925-942. <http://dx.doi.org/10.1080/09537287.2020.1837931>
- Cabello Minaya, D. L., & Rodríguez Flores, B. F. (2023). *Modelo de proceso de producción mediante el uso de herramientas lean manufacturing para aumentar la productividad de una fábrica de bolsas plásticas biodegradables* [Trabajo de suficiencia profesional de licenciatura, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. <http://hdl.handle.net/10757/668645>
- Canahua Apaza, N. (2021). Implementación de la metodología TPM-Lean Manufacturing para mejorar la eficiencia general de los equipos (OEE) en la producción de repuestos en una empresa metalmecánica. *Industrial Data*, 24(1), 49-76. <http://dx.doi.org/10.15381/idata.v24i1.18402>
- Carhuaricra Rojas, A. Y., & Colonio Camargo, M. X. (2023). *Modelo para incrementar el OEE de la máquina de formación de tubos en una empresa que pertenece sector metalmecánico con el uso de los pilares del TPM capacitación y entrenamiento, mantenimiento planificado y SMED* [Trabajo de suficiencia profesional de licenciatura, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. <http://hdl.handle.net/10757/671613>
- Castilla Janampa, Y. C., & Cueva Fuentes, A. C. L. E. (2021). *Aplicación del mantenimiento autónomo para incrementar el OEE del área de producción en SQM VITAS PERÚ S. A. C., Trujillo 2021* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo].

- Repositorio Digital Institucional de Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/84292>
- Caswito, A., & Hidayat Sutawijaya, A. (2019). Analysis of total maintenance productivity on ships/fleet to increase performance using overall equipment effectiveness (OEE) method and analysis of six big losses (case study of PT. XYZ). *American International Journal of Business Management (AIJBM)*, 2(9), 23-37. <https://www.aijbm.com/wp-content/uploads/2019/09/D292337.pdf>
- Chiarini, A. (2015). Improvement of OEE performance using a lean six sigma approach: An Italian manufacturing case study. *International Journal of Productivity and Quality Management*, 16(4), 416-433. <http://dx.doi.org/10.1504/IJPM.2015.072414>
- Correia Pinto, G. F., Gomes da Silva, F., Garcia Fernandes, N., Barros Casais, R., Baptista da Silva, A., & Vale Carvalh, C. (2020). Implementing a maintenance strategic plan using TPM methodology. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 11(3), 192-204. <https://ijiemjournal.uns.ac.rs/index.php/ijiem/article/view/92>
- Cruz Álvarez, J. G. (2004). *Administración de operaciones herramientas de clase mundial para la productividad* [Tesis de doctorado, Universidad Autónoma de Nuevo León]. Repositorio de la Universidad Autónoma de Nuevo León. <https://cd.dgb.uanl.mx/handle/201504211/16340>
- Espinoza Pinedo, L. C. (2021). *Modelo de mantenimiento basado en las herramientas BPM, SMED y TPM para incrementar la eficiencia productiva de una mype del sector plásticos* [Trabajo de investigación de licenciatura, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. <http://hdl.handle.net/10757/657100>
- Fam, S. F., Ismail, N., Yanto, H., Prastyo, D. D., & Lau, B. P. (2018). Lean manufacturing and overall equipment efficiency (OEE) in paper manufacturing and paper products industry. *Journal of Advanced Manufacturing Technology (JAMT)*, 12(1[2]), 461-474. <https://jamt.utem.edu.my/jamt/article/view/4305>
- Ferreira, S., Silva, F. J. G., Casais, R. B., Pereira, M. T., & Ferreira, L. P. (2019). KPI development and obsolescence management in industrial maintenance. *Procedia Manufacturing*, 38, 1427-1435. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.145>
- Foit, K., Golda, G., & Kampa, A. (2020). Integration and evaluation of intra-logistics processes in flexible production systems based on OEE metrics, with the use of computer modelling and simulation of AGVs. *Processes*, 8(12), 1648. <https://doi.org/10.3390/pr8121648>

- Gupta, A. K., & Garg, R. K. (2012). OEE improvement by TPM implementation: A case study. *International Journal of IT, Engineering and Applied Sciences Research*, 1(1), 115-124. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=12c4244ee94852ebd6cd5c79789e60e8f700c292>
- Hardono, J. (2020). Analisa total productive maintenance (TPM) menggunakan overall equipment effectiveness (OEE) pada mesin CNC milling. *Jurnal Teknik*, 9(2), 105-115. <http://dx.doi.org/10.31000/jt.v9i2.3689>
- Ingemansson, A. (2004). *On reduction of production disturbances in manufacturing systems based on discrete-event simulation* [Tesis de doctorado, Lund University]. Find Research at Lund University. https://www.lth.se/fileadmin/maskinkonstruktion/robotteknik/arkiv/2004/arne_ingemanssin_2004_thesis.pdf
- Jain, A., Bhatti, R., & Singh, H. (2014). Total productive maintenance (TPM) implementation practice: A literature review and directions. *International Journal of Lean Six Sigma*, 5(3), 293-323. <http://dx.doi.org/10.1108/IJLSS-06-2013-0032>
- López-Coronel, G. F., Real-Pérez, G. L., & Moreira-Mendoza, N. R. (2023). Análisis causa raíz en central de generación termoeléctrica de Ecuador. *MQRInvestigar*, 7(3), 3589-3608. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.7.3.2023.3589-3608>
- Luna Galarza, K. G., & Cerrón Rojas, K. Á. (2019). *Las 7 mudas para mejorar la gestión del almacén de la empresa Creaciones Mayoís 2019* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional de la Universidad del Centro del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/8585>
- Martomo, Z. I., & Laksono, P. W. (2018, 13-14 de febrero). Analysis of total productive maintenance (TPM) implementation using overall equipment effectiveness (OEE) and six big losses: A case study. En *The 3rd International Conference on Industrial, Mechanical, Electrical, and Chemical Engineering*. AIP Conference Proceedings. <http://dx.doi.org/10.1063/1.5024085>
- Mendoza Coaricona, M. K., & Cordova Pillco, D. A. (2024). *Propuesta de mejora para reducir los tiempos de entrega de pedidos basado en herramientas lean y SLP en una empresa del sector plástico* [Trabajo de suficiencia profesional de licenciatura, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Institucional de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. <http://hdl.handle.net/10757/672428>
- Muchiri, P., & Pintelon, L. (2008). Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): Literature review and practical application discussion.

- International Journal of Production Research*, 46(13), 3517-3535. <https://doi.org/10.1080/00207540601142645>
- Muñoz-Villamizar, A., Santos, J., Montoya-Torres, J. R., & Jaca, C. (2018). Using OEE to evaluate the effectiveness of urban freight transportation systems: A case study. *International Journal of Production Economics*, 197, 232-242. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.01.011>
- Mussche, G. (2021). *Improving the overall equipment effectiveness of a cutting and planning line by eliminating short stops* [Tesis de bachiller, University of Twente]. Student Theses. <https://purl.utwente.nl/essaqys/87472>
- Muthalib, I. S., Rusman, M., & Griseldis, G. L. (2019, 31 de octubre). Overall equipment effectiveness (OEE) analysis and failure mode and effect analysis (FMEA) on packer machines for minimizing the six big losses. A cement industry case. En *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Science. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/885/1/012061>
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: Total productive maintenance*. Productivity Press.
- Nusraningrum, D., & Arifin, Z. (2018). Analysis of overall equipment effectiveness (OEE) on engine power plant performance. *KnE Social Sciences*, 3(10). <https://doi.org/10.18502/kss.v3i10.3468>
- Parida, A., Kumar, U., Galar, D., & Stenström, C. (2015). Performance measurement and management for maintenance: A literature review. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 21(1), 2-33. <http://dx.doi.org/10.1108/JQME-10-2013-0067>
- Poves-Calderno, I. G., Ramírez-Mendoza, J. A., Núñez-Ponce, V. H., & Álvarez-Merino, J. C. (2019). Application of lean manufacturing techniques in a Peruvian plastic company. En *2019 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/IEEM44572.2019.8978813>
- 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>
- Romanenko, M., & Baybus, M. (2017). Implementation of overall equipment efficiency methodology in the semiconductor test facility ER: Equipment reliability and productivity improvement. En *2017 28th Annual SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ASMC.2017.7969208>

- Stamatis, D. H. (2017). *The OEE primer: Understanding overall equipment effectiveness, reliability, and maintainability*. CRC Press.
- Tambo Calvera, C. V., & Rodriguez Huaynalaya, K. S. (2023). Propuesta para la aplicación de TPM en un proceso de laminado para mejorar el OEE en una empresa de coberturas livianas, ubicada en Lima [Trabajo de suficiencia profesional de licenciatura, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. <http://hdl.handle.net/10757/671615>
- Torres-Rodríguez, R. M., Pérez-Guerrero, J. N., & González-López, N. A. (2024). El mantenimiento productivo total como estrategia en la gestión del mantenimiento industrial. *MQRInvestigar*, 8(1), 1229-1240. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.8.1.2024.1229-1240>
- Varela, J., López, A. G., & Romero, R. (2023). Medición de la productividad mediante el *overall equipment effectiveness* (OEE) para operaciones no cíclicas. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(6), 1273-1285. <https://doi.org/10.56712/latam.v4i6.1522>
- Veloz Vargas, D. E. (2023). *El mantenimiento preventivo como estrategia en la minimización de accidentes y aseguramiento de la calidad* [Tesis de maestría, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio de la Universidad Politécnica Salesiana. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24055>
- Wannawiset, S., & Tangjitsitcharoen, S. (2019, junio). Paper machine breakdown reduction by FMEA and preventive maintenance improvement: A case study. En *Proceeding of the 2018 International Conference on Recent Advances in Industrial Engineering and Manufacturing*. IOP Science. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/530/1/012051>
- Zhou, J., Wang, Y., & Chua, Y. Q. (2020, noviembre). *Machine OEE monitoring and analysis for a complex manufacturing environment* [Presentación de paper]. En 2020 15th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), Kristiansand, Norway. <http://dx.doi.org/10.1109/ICIEA48937.2020.9248351>

EVALUACIÓN Y MEJORA DEL MANEJO Y CONTROL DE INVENTARIO EN UNA EMPRESA DE COMERCIALIZACIÓN DE PINTURAS PARA REDUCIR EL DESPERDICIO Y PÉRDIDA DE PRODUCTOS

YURIDIA BELÉN COTA PARDINI

<https://orcid.org/0000-0003-1962-9274>

Ingeniería Industrial, División de Ciencias Industriales,
Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Guasave,
México

MARCOS OCTAVIO OSUNA ARMENTA*

<https://orcid.org/0009-0006-2194-378X>

Ingeniería Industrial, 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>

Ingeniería en Sistemas Computacionales, División de Ciencias Computacionales,
Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Guasave,
México

DANIEL MEDRANO VILLALOBOS

<https://orcid.org/0009-0005-8297-3010>

Ingeniería en Gestión Empresarial, División de Ciencias Industriales,
Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Guasave,
México

Recibido: 6 de febrero del 2025 / Aceptado: 25 de marzo del 2025

Publicado: 10 de junio del 2025

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2025.n48.7744>

Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

* Autor correspondiente.

Correos electrónicos en orden de aparición: yuridia.cp@guasave.tecnm.mx, marcos.oe@guasave.tecnm.mx, jose.sa@guasave.tecnm.mx, L2025010143@guasave.tecnm.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. El inventario es una parte fundamental en la gestión de recursos de cualquier empresa. Existen diferentes tipos con características y funciones específicas según las necesidades y objetivos de la organización. En la presente investigación, se aplicaron herramientas como la clasificación por modelo ABC, establecimiento de políticas y procedimiento de "primero en entrar, primero en salir" (método PEPS), lo que permitió diseñar un sistema de inventarios para tener un adecuado control, clasificación y rotación de mercancía para una empresa de comercialización de pinturas con el objetivo de reducir pérdidas económicas por productos obsoletos. Con el análisis del diagnóstico realizado, se pudieron detectar más de cien productos que se consideraban obsoletos, lo que generó un costo significativo para la empresa. Además, se logró identificar cerca de cuatrocientos productos que se encontraban mal ubicados dentro del almacén, los cuales fueron clasificados de manera adecuada. En conclusión, los resultados mostraron una reducción significativa en el índice de obsolescencia de inventario; se pasó del 1,31 % al 0,34 %.

PALABRAS CLAVE: inventario / control / gestión de inventarios / clasificación / rotación / sistema PEPS

EVALUATION AND IMPROVEMENT OF INVENTORY MANAGEMENT AND CONTROL IN A PAINT MARKETING COMPANY TO REDUCE WASTE AND LOSS OF PRODUCTS

ABSTRACT. Inventory is a fundamental part of the resource management of any company. There are different, each with specific characteristics and functions according to the needs and objectives of the organization. In this research, tools such as classification by ABC model, establishment of policies and FIFO procedure were applied, allowing an inventory system to be designed for a paint marketing company to have adequate control, classification and rotation of merchandise with the objective of reducing losses. economical for obsolete products. With the analysis of the diagnosis carried out, it was possible to detect more than 100 existing products that were considered obsolete, generating a significant cost for the company. In addition, it was possible to identify nearly 400 products that were poorly located within the warehouse, being able to classify them appropriately. In conclusion, the results showed a significant reduction in the inventory obsolescence rate, going from 1,31 % to 0,34 %.

KEYWORDS: inventory / control / inventory management / classification / rotation / FIFO system

INTRODUCCIÓN

La gestión eficiente del inventario es uno de los pilares fundamentales para el éxito de las empresas dedicadas a la comercialización de bienes, especialmente en sectores como el de las pinturas y productos relacionados, donde la correcta rotación y almacenamiento son esenciales para evitar pérdidas económicas. Según Osuna-Armenta et al. (2023), los inventarios son un espacio físico cuyo principal propósito es resguardar materiales, productos terminados y no terminados; además, es el lugar donde se desarrollan distintas actividades como identificar necesidades de las mercancías o realizar pedidos, acomodo, protección y distribución. Por ello, es importante contar con medios de control para su adecuado manejo.

En ese sentido, el presente proyecto surgió ante la necesidad de optimizar las operaciones del almacén de pinturas, reducir el desperdicio de productos, mejorar la eficiencia en la gestión del inventario y aumentar la competitividad dentro del mercado. Esto representa para las empresas de comercialización de pinturas un desafío, ya que sus productos pueden ser perecederos, tener un ciclo de vida limitado o requerir condiciones de almacenamiento específicas.

Para el desarrollo de esta investigación, se utilizó un tipo de investigación descriptiva, la cual, de acuerdo con Creswell (2020), se enfoca en describir las características de una población o fenómeno sin intentar explicar las relaciones entre variables. Además, como la empresa estudiada es una microempresa, se ha utilizado como elemento de muestra a todos sus empleados y se ha abarcado todo el proceso de la cadena de distribución del almacén. Para la recopilación de información se utilizó como técnica la entrevista y como instrumento la encuesta y tabulación de datos.

El estudio concluyó que el diagnóstico realizado permitió la identificación de múltiples problemas que afectaban los procesos del almacén, por lo que se realizó una propuesta de codificación, clasificación ABC y sistematización del inventario para brindar una solución efectiva frente a la situación. Además, se observó una mejora en la eficiencia del personal y el control de existencias tras realizar un análisis ABC de los repuestos del almacén, lo que redujo el riesgo de pérdida de capital, pues se identificó que el 20 % de los repuestos representaban el 50 % del valor total. Esto llevó a que la implementación de controles por categoría fuera más fácil. Asimismo, crear una base de datos con la información de los inventarios permitió que la empresa desarrollara una mejor gestión y control sobre las entradas, salidas, ventas y pedidos de reposición.

Según el estudio de Pulla Morochó (2020), sobre la gestión de un almacén en una empresa de materiales de construcción, mediante la aplicación del método de clasificación ABC, se logró designar los costos que eran clave en el proceso productivo. Se determinó el nivel de eficiencia y eficacia que ha alcanzado la gestión financiera

utilizando veinte productos distintos con una rotación anual que incluyó un total de 77 400 artículos, con un valor de US\$ 965 400. Al subdividir los productos, seis de ellos representaron el 80 % del valor del inventario, lo que sugirió un control constante sobre estos, ya que de ellos dependía el movimiento financiero de la organización. Tres productos tenían una participación que iba del 81 % al 95 %, lo que sugirió un control intermedio, ya que proporcionaba una participación en ventas del 15 %. Al final, once productos aportaron el 5 %, cuyo control se consideró minoritario. De esta forma, la organización pudo identificar y tomar mejores decisiones en el manejo de los productos.

Cobeña Zambrano y Medina León (2023) analizaron el área de inventario y su impacto en la rentabilidad de una empresa de pinturas a través de la aplicación del cuestionario de control interno según el modelo COSO I, el cual permitió evaluar los procedimientos internos para elaborar un modelo de control interno que incluyera, además, el manual de políticas, funciones y procedimientos. El estudio concluyó que es importante el establecimiento de controles del área de inventarios para elevar la rentabilidad del negocio.

En ese sentido, en esta investigación se han diseñado soluciones basadas en mejores prácticas de almacenamiento, uso de herramientas tecnológicas y un enfoque en la capacitación del equipo humano, elementos esenciales para transformar la operatividad del almacén. Al adoptar estas estrategias, la empresa no solo reduciría costos y desperdicios, sino que también fortalecería su posición en el mercado para mejorar su capacidad para atender a sus clientes de manera eficiente y oportuna.

METODOLOGÍA

La población de análisis de esta investigación fue una empresa de pinturas y el personal responsable del manejo de inventario. Específicamente, la muestra del estudio estuvo conformada por los productos ubicados en el almacén de la empresa y tres empleados de las áreas de bastimento, ventas y administración. Las variables utilizadas fueron las estrategias de la organización y el control en el manejo de inventario, es decir, todos aquellos métodos, sistemas de control y herramientas empleadas para la adecuada gestión de inventarios. Los indicadores se representaron con el método de clasificación ABC, políticas de "primero en entrar, primero en salir" (método PEPS) y el sistema de control de inventario. Además, se utilizó como variable la eficiencia de la gestión de inventarios, la cual describía el resultado que se esperaba obtener a partir de los métodos implementados en la organización y control de inventarios, y se representó a través del índice de obsolescencia de inventario. Por otro lado, las técnicas desarrolladas para la obtención de datos fueron la observación directa a través de una lista de verificación con datos cualitativos, las entrevistas a través de una guía que arrojó datos

cualitativos y la encuesta a través de cuestionarios que representaron datos cualitativos y cuantitativos.

El presente estudio es del tipo descriptivo y explicativo (Hernández-Sampieri et al., 2022), en el que se consideró la situación actual del inventario y sus problemas, se analizaron las causas y se propusieron estrategias que han impactado en el desempeño del inventario. Además, se consideró un estudio de caso (Stake, 2020), cuyo objeto de estudio fue una empresa comercial de la ciudad de Guasave, Sinaloa, donde se observó el comportamiento de las variables tal y como ocurren, sin realizar experimentos que las modifiquen.

La investigación se llevó a cabo en tres etapas: una fase de diagnóstico, en la que se analizó la situación actual del inventario; una fase de diseño e implementación, orientada a aplicar y probar estrategias de organización y control; y una fase de evaluación, donde se midieron los resultados obtenidos (véase Tabla 1). Este enfoque no solo permitió identificar las áreas de mejora, sino también establecer un modelo replicable que permitiera a la empresa incrementar la eficiencia de su gestión de inventarios a largo plazo.

Tabla 1
Diseño metodológico del proyecto de investigación

Etapa 1. Diagnóstico de la situación actual	
Objetivo	Realizar un diagnóstico de la empresa para identificar problemáticas en sus procedimientos, productos y almacén que afecten su desempeño
¿Qué se va a hacer?	Elaborar un diagnóstico de la situación actual
¿Cómo se va a hacer?	• Realizar entrevistas y encuestas a los empleados • Realizar un recorrido por las instalaciones (almacén) para identificar problemáticas y oportunidades de mejora • Realizar un conteo de productos obsoletos
¿Con qué herramientas?	Lista de verificación, guía de entrevista, cuestionario, hojas de cálculo
Etapa 2. Implementación de estrategias y mejoras	
Objetivo	Identificar las principales problemáticas que presenta Casvel Pinturas y, con base en ello, generar distintas estrategias que permitan abordar dichas problemáticas y mejorar la eficiencia operativa
¿Qué se va a hacer?	Aplicar y probar estrategias de organización y control en el manejo de inventarios

(continúa)

(continuación)

Etapa 2. Implementación de estrategias y mejoras	
¿Cómo se va a hacer?	• Analizar los datos obtenidos en la etapa inicial e identificar principales problemáticas y oportunidades de mejora • Aplicar matriz FODA para identificar las estrategias ideales desde distintos puntos de vista • Elaborar la clasificación de productos mediante el método ABC • Establecer políticas del manejo adecuado del inventario mediante el método PEPS • Elaborar un catálogo de locaciones para identificar la ubicación de los productos • Elaborar un sistema automatizado de gestión de inventarios para controlar el stock, entradas y salidas de productos
¿Con qué herramientas?	Tablas y gráficos, matriz FODA, método de clasificación ABC, catálogo de locaciones
Etapa 3. Evaluar obsolescencia de inventario y proponer recomendaciones	
Objetivo	Evaluar el índice de obsolescencia de inventario y proponer las recomendaciones necesarias que le permitan a la empresa mantener un seguimiento de las actividades realizadas y garantizar la efectividad de estas
¿Qué se va a hacer?	• Realizar una comparativa del índice de obsolescencia antes y después de la aplicación de las estrategias • Establecer recomendaciones a la empresa y redactar informe final
¿Cómo se va a hacer?	Mediante el análisis de las estrategias implementadas, proponer las herramientas y procedimientos necesarios que permitan la implementación proactiva de las estrategias
¿Con qué herramienta?	Microsoft Word

RESULTADOS

Durante esta investigación, se llevaron a cabo diversas actividades clave que permitieron identificar, analizar y resolver las principales problemáticas relacionadas con la gestión de inventarios en la empresa. Se inició con una entrevista al director general para conocer los principales problemas presentados en el inventario.

La información obtenida de la entrevista al director general mostró datos relevantes de la problemática actual. Además, indicó que, en un periodo anterior, se tuvo pérdidas de US\$ 85 586,06 que derivaron de 113 productos obsoletos, cuyas principales causas fueron la falta de un sistema eficiente para la distribución y organización de los productos de almacén, los procesos manuales que dificultaron el control ágil y preciso del inventario, y un programa de capacitación ineficiente para el manejo de productos. Asimismo, el entrevistado señaló que todo esto ha afectado la imagen de la empresa

en cuanto a la respuesta de la demanda a los clientes, ya que afectó la percepción de la calidad del producto y la confiabilidad del servicio brindado. Por otro lado, se entrevistó a los trabajadores, quienes expresaron que no conocían una metodología eficiente para el manejo, control o rotación de inventario que impidiera la caducidad de productos, y que no se realizaban auditorías ni se medía el impacto que se tiene al desechar este tipo de solventes. En relación con ello, Aquima Vilca et al. (2022) han señalado que en toda organización los inventarios se rigen por políticas para su control contable, por lo que debería existir documentación y herramientas diseñadas para dicho control, con la finalidad de que la información de las transacciones internas sea confiable y auténtica. De igual forma, Núñez-Oviedo y Tarazona-Torres (2024) han enfatizado en cómo la ausencia de métodos basados en pronósticos precisos lleva a la toma de decisiones arbitrarias —como las cantidades a pedir—, lo que genera ineficiencias, obsolescencias del producto y pérdida del valor comercial. Por otra parte, el establecimiento de políticas de inventario fuertes contribuye a la disminución de estos problemas y fortalece la operatividad empresarial.

Luego de las entrevistas, se realizó un recorrido por las instalaciones de la empresa con el objetivo de inspeccionar de manera detallada las áreas del almacén, con la finalidad de detectar problemáticas que pudieran estar afectando el manejo y control del inventario, así como identificar oportunidades para realizar mejoras. Para ello, se implementó una lista de verificación (véase Tabla 2). Entonces, cabe resaltar que diseñar un sistema de control de inventarios eficiente permite incrementar el control de los artículos, pues identifica aquellos que tienen una mayor rotación y cuyo margen de contribución es más alto. En este sentido, Córdova Rojas et al. (2022) han indicado que un adecuado control de inventarios brinda información relevante para la elaboración de presupuesto y los estados financieros, con el fin de garantizar el trabajo de la empresa, la calidad del servicio, la satisfacción de los clientes y una correcta ejecución de sus procedimientos.

Tabla 2
Resultados de lista de verificación para diagnóstico inicial

Ítem	Área	Descripción	Sí	No	N/A	Descripción/hallazgo
1	Administración	El personal recibe capacitación en el manejo y control de inventarios		X		
2		Conoce el personal los formatos de seguimiento y monitoreo de los inventarios		X		
3	Compras-venta	Existe un modelo o método para realizar los procesos de abastecimientos de productos		X		
4		La reposición de los productos se hace en función de la rotación de los inventarios		X		La reposición se realiza cada vez que se requiere
5		Los productos obsoletos son gestionados oportunamente ante los proveedores		X		
6		Los productos son verificados en cantidad y referencia antes de ser despachados al cliente	X			El área de ventas revisa que la cantidad y los productos sean los seleccionados por el cliente
7		Se llevan los registros de entrega de los productos	X			Por medio de remisiones y facturas

(continúa)

(continuación)					
Ítem	Área	Descripción	Sí	No	N/A
8	Almacén	Existen procedimientos del manejo de inventarios en el almacén		X	
9		Se realizan los registros de las entradas y salidas de los productos en el almacén		X	La empresa no cuenta con un sistema de control de inventario para su almacén
10		Se realiza rotación de los productos en el área de almacenamiento	X		Los productos sí son rotados, pero mediante un sistema muy ineficiente
11		Existe una adecuada distribución de espacios para el almacenamiento de los productos		X	
12		Los productos se encuentran debidamente codificados y señalizados para una fácil identificación		X	
13		Los productos almacenados manejan un formato o kárdex para su monitoreo		X	
14		Se realizan inventarios periódicos para el control o monitoreo de los productos		X	
15		El almacén cuenta con procesos o procedimientos claros para el manejo de los inventarios		X	

Posteriormente, se realizó un conteo de productos ubicados dentro del almacén para identificar las existencias que no tenían movimiento en el inventario y que estaban próximas a caducar o que ya no cumplían con los estándares de calidad necesarios para su venta. Esta actividad tuvo como propósito reducir pérdidas, liberar espacio en el almacén y planificar estrategias para su manejo adecuado. Para ello, se implementó un formato de registro y hojas de cálculo para validar y analizar los resultados. En dicho formato se desglosan los siguientes indicadores:

- código: clave única asignada a cada producto
- descripción del producto: características esenciales del producto, como nombre, marca y contenido
- cantidad: número de productos encontrados
- observaciones de estado físico: de acuerdo con lo observado, se pueden clasificar de la siguiente manera:
 - adecuado: productos que se encuentran en correcto estado físico y en condiciones ideales para su venta
 - mal estado: productos que por su condición física no son adecuados para su venta y que, de acuerdo con la posterior revisión por parte del equipo, pueden considerarse como productos obsoletos.

Dentro de esta evaluación, como se puede analizar en la Tabla 3, se elaboró un listado que muestra la pérdida monetaria que representa para la empresa cada producto en malas condiciones.

Tabla 3
Existencias obsoletas

Descripción	Cantidad	Precio unitario (US\$)	Importe (US\$)
Apex 100 base D 19 l	7	1866,50	13 065,49
Apex 1000 base A 4 l	4	367,42	1469,67
Apex 1000 base D 1 l	6	136,16	816,93
Apex 1000 blanco 1 l	10	215,85	2158,53
Apex 1000 blanco 4l	6	560,45	3362,72
Artesano 500 amarillo 4 l	6	272,09	1632,54
Artesano 500 base P 4 l	6	258,69	1552,11
Cosmo Plus blanco 1 l	8	168,32	1346,56
Cosmo Plus blanco 4 l	6	528,66	3171,98
Cosmo Plus carmín 1 l	12	160,66	1927,86
Epoxico HD1 canario 4 l	4	2045,00	8180,00

(continúa)

(continuación)

Descripción	Cantidad	Precio unitario (US\$)	Importe (US\$)
Epoxico HD1 rojo 4 l	3	2045,00	6135,00
Esmalte Galer 900 amarillo cromo 4 l	4	894,97	3579,88
Esmalte Galer 900 bosque 1 l	6	249,00	1494,00
Esmalte Galer 900 chocolate 4 l	3	894,97	2684,91
Esmalte Galer 900 galaxia 4 l	6	894,97	5369,81
Esmalte Galer 900 naranja 4 l	3	894,97	2684,91
Esmalte Galer 900 rojo 4 l	4	894,97	3579,88
Esmalte Galer 900 zafiro 4 l	3	894,97	2684,91
Transportation esmalte poliuretano amarillo óxido 4 l	2	2381,21	4762,41
Transportation esmalte poliuretano rojo claro 4 l	4	3481,49	13 925,96
Totales	113	-	85 586,06

En la etapa 2, considerando el estado de sus productos y las principales dificultades en cada área involucrada, se elaboró una matriz FODA. Kotler y Keller (2020) la definen como una herramienta de planificación estratégica que identifica y evalúa los factores internos y externos que pueden afectar el desempeño y la competitividad de una organización. Por ello, dicha matriz permitió identificar las estrategias clave que podrían implementarse para abordar los desafíos de la empresa. Además, facilitó un análisis estructurado de los factores internos (fortalezas y debilidades) y externos (oportunidades y amenazas) que incidían en su situación actual. En relación con ello, para Wheelen y Hunger (2020), el análisis FODA es una técnica que ayuda a las organizaciones a identificar y evaluar los aspectos fuertes y débiles de una organización; además, señalan la importancia de desarrollar estrategias para aprovechar las oportunidades, mitigar las amenazas, mejorar su desempeño y alcanzar sus objetivos (véase Tabla 4).

Tabla 4
Análisis FODA

	Análisis del entorno	
	Oportunidades	Amenazas
Análisis interno	• Crecimiento del mercado de pintura en la región debido al desarrollo inmobiliario • Implementación de sistemas tecnológicos para el control de inventarios • Posibilidad de reducir costos operativos mediante la optimización del almacén • Alianzas estratégicas con proveedores para obtener mejores condiciones de suministro	• Competencia fuerte de otras empresas locales y nacionales • Cambios en las preferencias de los clientes hacia productos ecológicos o especializados • Incremento en los costos de materias primas o productos terminados • Riesgos asociados a problemas logísticos y de suministro
Fortalezas	FO	FA
• Amplia variedad de productos para inmuebles y vehículos • Experiencia en el mercado local de Guasave, Sinaloa • Buen reconocimiento de la marca en la región • Excelente atención al cliente • Equipo comprometido con la mejora continua	• Implementar un sistema digitalizado de control de inventarios aprovechando el equipo comprometido y la experiencia en el mercado • Promocionar la amplia variedad de productos mediante alianzas estratégicas con proveedores locales	• Fortalecer la relación con los clientes locales mediante promociones o descuentos para diferenciarse de la competencia • Implementar campañas de <i>marketing</i> para resaltar la experiencia y su compromiso con productos de alta calidad
Debilidades	DO	DA
• Falta de un sistema eficiente de manejo y control de inventario • Pérdidas económicas por productos caducos o dañados • Espacio de almacenamiento limitado y poco optimizado • Falta de capacitación del personal	• Modernizar el almacén integrando un <i>software</i> de gestión de inventarios para reducir los errores de gestión y perdidas • Ampliar el espacio de almacenamiento a través de estrategias de reorganización o inversión en infraestructura	• Reducir las pérdidas de productos caducados mediante un sistema de rotación eficiente (método PEPS) • Capacitar al personal en el uso de nuevas herramientas tecnológicas para enfrentar la competencia y cambios en el mercado

En la etapa de implementación de estrategias se utilizó el modelo de clasificación ABC, realizando un conteo de existencias para identificar productos obsoletos, lo cual fue registrado en un documento de Microsoft Excel para su posterior análisis. Cabe destacar que el método de clasificación ABC permite identificar y priorizar artículos clave para reducir costos de inventario y mejorar la eficiencia de la cadena de suministro (Tersine, 2020).

Se utilizó un reporte del coste de cada uno de los productos y en total se analizaron 403 productos ubicados en almacén, los cuales fueron clasificados en categorías A, B o C, según corresponda. Principalmente, se obtuvo el costo total de los productos, es decir la operación entre el *stock* actual y el costo unitario, posteriormente el porcentaje que representa el costo total de cada producto en el inventario y a su vez el porcentaje acumulado para lograr identificar cuáles productos pertenecen a cada clasificación. Como se puede observar en la Tabla 5, se muestran los resultados de esta clasificación donde se identificaron los productos prioritarios para el control y la reposición, facilitando una gestión más eficiente de los recursos.

Tabla 5
Resultado del análisis ABC

Zona	Familias de productos	Cantidad de elementos	Artículos (%)	Acumulado (%)	Inversión (%)	Inversión acumulada (%)
A	• Pinturas y recubrimientos	83	20,77	20,77	75,72	75,72
	• Esmaltes y primarios					
	• Productos automotrices y especiales					
	• Solventes					
	• Complementos y acabados					
B	• Esmaltes	156	28,26	49,03	19,07	94,79
	• Resinas y aditivos					
	• Catalizadores					
	• Limpiadores y desengrasantes					
	• Pulimentos.					

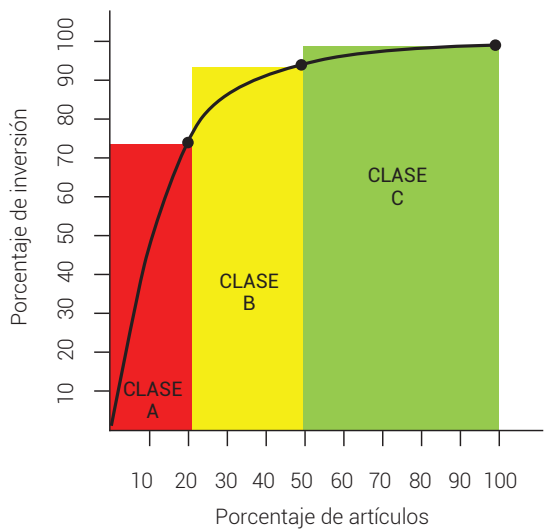
(continúa)

(continuación)

Zona	Familias de productos	Cantidad de elementos	Artículos (%)	Acumulado (%)	Inversión (%)	Inversión acumulada (%)
C	• Discos y lijas	164	50,97	100,00	5,21	100,00
	• Herramientas y accesorios					
	• Resanadores					
	• Productos para aplicación					
	• Protección y plásticos					
Total		403	100,00	-	100,00	-

Se clasificaron un total de 403 productos ubicados en el almacén. De acuerdo con el método, la clasificación señaló que 83 productos pertenecen a la categoría A; 156 productos, a la categoría B; y 164 productos, a la categoría C, tal como se observa en la Figura 1.

Figura 1
Clasificación ABC



Por último, se diseñaron y documentaron políticas basadas en el método PEPS para asegurar una adecuada rotación de inventarios y minimizar el riesgo de obsolescencia y caducidad de los productos. Estas políticas y procedimientos permitieron a la empresa

un control más eficiente de las entradas y salidas de su inventario y contribuyeron en la disminución de las pérdidas de sus productos.

Políticas

Política 1: orden y rotación

- Los productos que ingresen primero al almacén deben ser los primeros en salir para despacho o venta.
- La ubicación de los productos en el almacén debe facilitar el acceso prioritario a los lotes más antiguos.

Política 2: registro obligatorio

- Todas las entradas de productos deben registrarse con información detallada: fecha de ingreso, cantidad, precio unitario y lote.
- Cada salida debe descontar primero del lote más antiguo disponible.

Política 3: control de caducidad

- Los productos con fecha de caducidad deben incluir un registro adicional para priorizar su salida antes de que expiren.
- Ningún producto caducado podrá ser enviado al cliente.

Política 4: capacitación del personal

- Todo el personal involucrado en el manejo de inventario debe estar capacitado en el método PEPS.
- Las actualizaciones serán periódicas para garantizar el cumplimiento de las políticas.

Política 5: auditoría

- Las auditorías serán mensuales para verificar que los procedimientos del método PEPS se estén cumpliendo correctamente.

Procedimientos

Recepción de productos

- Verificar las cantidades recibidas y las condiciones de los productos.
- Registrar cada lote con los siguientes datos:

- fecha de entrada
- número de lote o identificador único
- cantidad y costo unitario
- Colocar los nuevos productos en la parte posterior del estante o almacén. Esto permitirá que los productos más antiguos queden al frente.

Almacenamiento y organización

- Etiquetar cada lote con los siguientes datos:
 - fecha de entrada
 - fecha de caducidad (si aplica)
- Mantener un sistema de almacenamiento organizado, utilizando un orden lógico que permita identificar rápidamente los lotes más antiguos.

Despacho o salida de productos

- Consultar el inventario para identificar el lote más antiguo disponible.
- Registrar la salida con los siguientes datos:
 - fecha de salida
 - cantidad y lote del producto retirado
- Si el lote más antiguo no tiene suficiente cantidad para completar el pedido, complementar con el siguiente lote disponible.

Revisión y control de inventarios

- Realizar conteos físicos periódicos para garantizar la precisión del inventario.
- Identificar productos que estén cerca de caducar y priorizarlos en promociones o ventas especiales.
- Comparar los registros de entradas y salidas con el inventario físico para detectar discrepancias.

Gestión de productos obsoletos o dañados

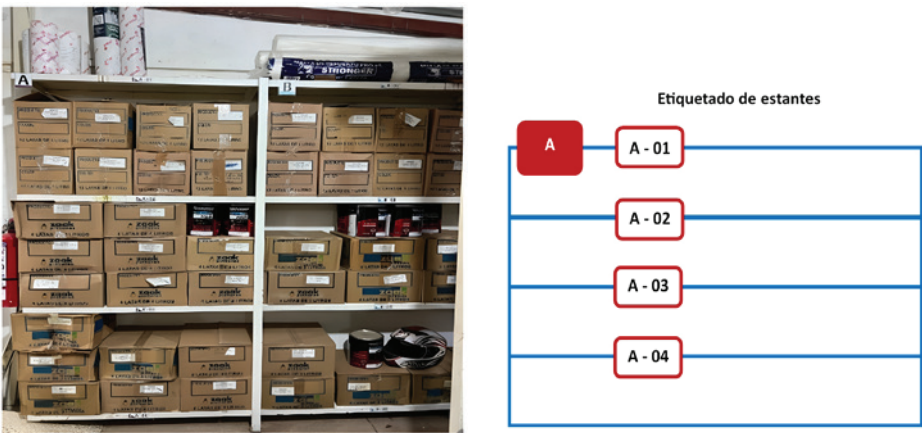
- Separar los productos caducados o en mal estado.
- Notificar al área correspondiente para evaluar su disposición.
- Registrar las pérdidas para un análisis futuro.

Con la intención de mejorar la organización de los productos dentro del almacén, se

diseñó un catálogo de locaciones, una herramienta que permitió controlar e identificar de manera más rápida y eficaz la ubicación de los artículos. Para ello, se acomodaron los productos en el almacén tomando en cuenta las necesidades de la empresa, el espacio disponible, los artículos con mayor entrada y salida, familias de productos, contenido o peso de los productos, etcétera. Esta herramienta resultó útil para que los trabajadores lograran optimizar tiempo y mejorar la eficiencia operativa de sus actividades dentro del almacén. Por lo tanto, los estantes se etiquetaron de la siguiente manera (véase Figura 2):

Figura 2

Etiquetado de estantes



Nota. A = nombre que se le asignó a cada estante, es decir una letra del alfabeto. A-01, A-02, A-03 y A-04 = códigos asignados a cada nivel según corresponda.

Como parte del análisis del impacto de la implementación de estrategias de control de inventarios, se llevó a cabo una evaluación comparativa utilizando el índice de obsolescencia de inventario (IOI). Este indicador fue útil, pues permitió medir la proporción de productos obsoletos en relación con el inventario total y proporcionó una referencia clave para determinar la efectividad de las acciones implementadas. El IOI se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$IOI = \left(\frac{\text{productos obsoletos}}{\text{inventario total}} \right) \times 100$$

Se realizaron dos mediciones. En la Tabla 6 se muestran los datos obtenidos mediante el conteo de existencias obsoletas, realizado en el diagnóstico de la situación actual de la empresa.

Tabla 6
Evaluación antes de la implementación de las estrategias

Evaluación inicial	
Productos obsoletos	113
Total de productos en inventario	8604

El porcentaje de obsolescencia de 1,313 puede parecer bajo en términos relativos, pero se debe considerar que la pérdida monetaria de US\$ 85 586,06 por productos obsoletos es significativa. Esto indica que, aunque la proporción de productos obsoletos respecto al total del inventario no es alarmante, el valor económico de estos productos sí representa un impacto considerable para la empresa.

$$IOI_{\text{inicial}} = \left(\frac{113}{8\,604} \right) \times 100 = 1,313 \%$$

Por otro lado, con la intención de conocer el comportamiento del inventario con base en las estrategias aplicadas, se realizó de nuevo un conteo para identificar la cantidad de productos obsoletos en el almacén. Como se puede ver en la Tabla 7, se encontró un total de 34 productos en malas condiciones.

Tabla 7
Conteo de existencias obsoletas después de la implementación de estrategias

Marca	Descripción	Cantidad	Precio unitario (US\$)	Importe (US\$)
Zaak	Apex 100 base D 19 l	2	1866,50	3733,00
Zaak	Apex 1000 base D 1 l	2	136,16	272,31
Zaak	Apex 1000 blanco 1 l	5	215,85	1079,26
Zaak	Artesano 500 amarillo 4 l	2	272,09	544,18
Zaak	Cosmo Plus blanco 1 l	3	168,32	504,96
Zaak	Cosmo Plus blanco 4 l	2	528,66	1057,33
Zaak	Cosmo Plus carmín 1 l	7	160,66	1124,59
Zaak	Apex 100 base A 4 l	4	367,42	1469,67
Sherwin Williams	Resanador Body Filler Total Line 4 l	4	459,00	1836,00
Zaak	Esmalte Galer 900 bosque 1 l	3	249,00	747,00
Totales		34	-	12 368,30

Posteriormente, se realizó la evaluación final que corresponde a los resultados obtenidos después de aplicar las técnicas y herramientas para mejorar y optimizar el inventario. Sobre ello, la Tabla 8 muestra los datos que se utilizaron para tal evaluación.

Tabla 8

Evaluación después de la implementación de las estrategias

Evaluación final	
Productos obsoletos	34
Total de productos en inventario	9962

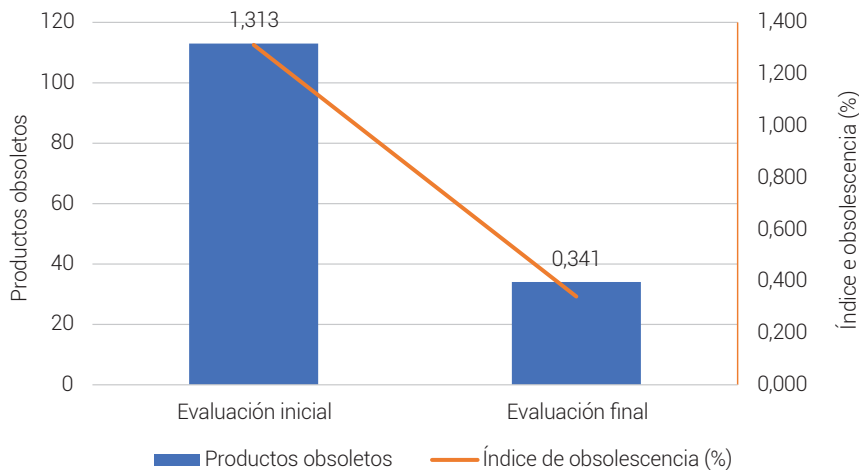
En otros términos, tenemos la siguiente ecuación:

$$IOI_{\text{inicial}} = \left(\frac{34}{9962} \right) \times 100 = 0,341 \%$$

Los resultados muestran una reducción significativa en el índice de obsolescencia de inventario, pasando del 1,313 % al 0,341 %, como se puede observar en la Figura 3 y en la ecuación anterior.

Figura 3

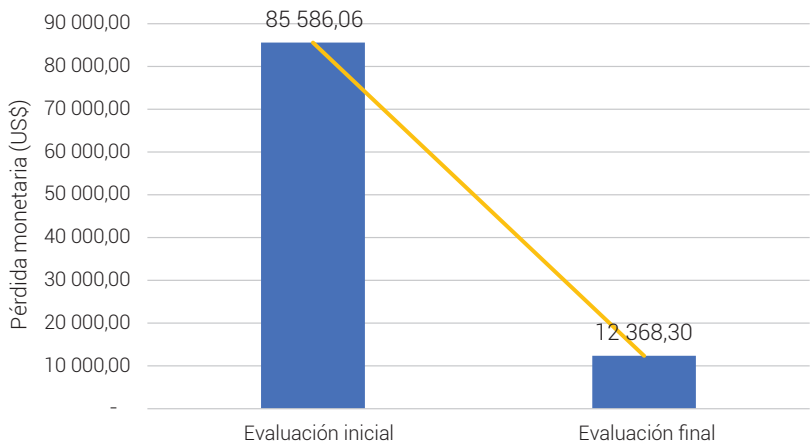
Comparativa respecto al índice de obsolescencia de inventario



Esta mejora sugiere que las estrategias implementadas —como la optimización de la rotación de stock, la clasificación de inventarios mediante el modelo ABC, la aplicación del método PEPS y el catálogo de locaciones— contribuyeron de manera efectiva a la reducción de la acumulación de productos sin rotación. Además, se observó que el

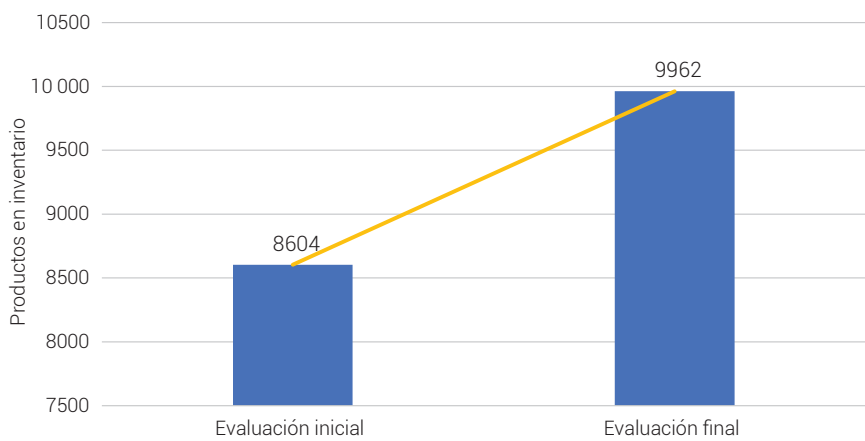
índice de obsolescencia de inventario del 1,313 % representa una pérdida monetaria de US\$ 85 586,06. En contraste, la reducción de este indicador al 0,341 % equivale a una pérdida de US\$ 12 368,30, lo que implica una disminución de US\$ 73 217,76, tal como lo muestra la Figura 4.

Figura 4
Comparativa con respecto a la pérdida monetaria



Por otro lado, en la Figura 5, se observa el aumento en el inventario total de 8604 a 9962 productos. Esto indica que la empresa logró mejorar su gestión de stock sin comprometer la disponibilidad de productos esenciales.

Figura 5
Comparativa respecto a la cantidad de productos en inventario



DISCUSIÓN

Hernández y Gómez (2020) han examinado el impacto de la gestión de inventarios para lograr la eficiencia de una empresa de distribución de productos de consumo, considerando la clasificación ABC para la identificación de productos críticos. Cabe señalar que este modelo clasifica los productos para reducir los tiempos de control y los costos en el manejo de inventarios (Guerrero, 2022). En torno a ello, los resultados de este estudio han mostrado que un 15 % de los productos clasificados en la categoría A generaron un 75,21 % del margen de contribución total, de un universo de 1500 productos, lo que destaca la importancia de enfocar estrategias de ventas y *marketing* en estos productos clave.

En el mismo sentido, otra investigación realizada por García et al. (2020), en una empresa de refacciones de autopartes, a través de la metodología ABC se identificó que solo el 40 % de las ventas estaban registradas, debido a que no contaban con políticas de recepción, compra, venta y levantamiento de inventarios, lo que generó que el 80 % de los pedidos a proveedores fueran por falta de mercancía. Como resultado, se tuvo que los grupos A, B y C estarían conformados por 5, 22 y 36 artículos, respectivamente, los cuales representaban el 8 %, 35 % y 57 % del total. El análisis de la demanda ayudó a identificar las refacciones de mayor y menor rotación (García et al., 2020).

Asimismo, la optimización de almacén fue crucial para mejorar la eficiencia y reducir costos en la cadena de suministro. Por ejemplo, de acuerdo con el estudio realizado en un restaurante peruano por Celi-Chávez et al. (2024), la implementación de herramientas de apoyo para la gestión de almacén, como *material requirements planning* (MRP) y *master production schedule* (MPS), puede reducir los costos de mantenimiento de inventarios al pronosticar adecuadamente la demanda y estimar cantidades de insumos para un plan de compras acertado, lo que incrementa en un 10 % los pedidos entrantes. De igual forma, el estudio de Villamil et al. (2024) encontró que la implementación de sistemas de gestión de almacén puede mitigar los riesgos y así evitar robos y la pérdida de valor de los activos, lo que facilitaría cubrir la demanda, ya que se identifica la rotación de los productos y se mejora el manejo del inventario en un 45 %.

A través de la evaluación de las estrategias de control de inventarios de la organización, se identificó que las acciones implementadas fueron efectivas para reducir la obsolescencia de productos y mejorar la gestión del *stock*. Para Osuna et al. (2024), la gestión de procesos es esencial para mejorar la eficiencia operativa y alcanzar los objetivos, lo que permite una visión holística y detallada de las actividades, e identifica estrategias que impulsen el crecimiento y mejora de la organización. Este enfoque es fundamental para optimizar la eficiencia y la efectividad de una organización, pues asegura que los recursos se utilicen de la mejor manera posible para satisfacer las necesidades del cliente.

Entonces, la disminución del índice de obsolescencia del 1,31 % al 0,37 % confirma que la implementación de estrategias de control de inventarios ha permitido reducir el desperdicio, optimizar el espacio de almacenamiento y fortalecer la gestión de *stock* en inventario, lo que sienta bases sólidas para una operación más eficiente y sostenible. En esa línea, la optimización de inventario es una estrategia crucial para las empresas que buscan mejorar su eficiencia y reducir costos. Según Bowersox et al. (2022), la optimización de inventario puede ayudar a las empresas a reducir los costos de mantenimiento de inventarios, mejorar la satisfacción del cliente y aumentar la flexibilidad en la cadena de suministro.

Los resultados obtenidos han validado la hipótesis inicial, lo que ha demostrado que una gestión más estructurada y organizada del inventario impacta positivamente en la eficiencia operativa y en la sostenibilidad de la empresa. Cabe acotar que la eficiencia operativa se refiere a la capacidad de una organización para producir bienes y servicios de manera efectiva y eficiente (Jacobs & Chase, 2020). Esto confirma que invertir en estrategias de control y optimización del inventario es una decisión clave para el crecimiento y la competitividad de la empresa.

CONCLUSIONES

Las diferentes estrategias implementadas han demostrado ser herramientas valiosas para la mejora de la gestión de inventarios. Los resultados han indicado que, al adoptar un enfoque más estratégico y centrado en el valor, la empresa no solo ha optimizado su inventario, sino que también ha sentado las bases para un crecimiento sostenible en el futuro. Para maximizar estos beneficios, es crucial que la empresa continúe evaluando y ajustando su enfoque para asegurar que se mantenga alineado con las dinámicas cambiantes del mercado y las necesidades de los clientes.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

Yuridia Belén Cota Pardini: conceptualización, análisis formal, adquisición de fondos, administración de proyecto, supervisión, visualización, escritura-borrador y original.

Marcos Octavio Osuna Armenta: metodología, validación, redacción: revisión y edición.

José Antonio Sandoval Acosta: *data curation*, recursos. **Daniel Medrano Villalobos:** investigación.

REFERENCIAS

- Aquima Vilca, D. V., Pari Rivera, I., & Vega Espilco, P. O. (2022). Propuesta de control de inventarios en una empresa comercial. *Gestión Joven*, 23(3), 1-25. https://gestionjoven.org/revista/contenidos_23_3/Vol23_num3_1.pdf
- Bowersox, D. J., Closs, D. J., & Cooper, M. B. (2022). *Supply chain logistics management*. McGraw Hill.
- Celi-Chávez, D. A., Mendiola-Zapata, N. X., & Cabrera-Gil-Grados, E. M. (2024). Mejora en la gestión de abastecimiento, planeamiento y control de la producción a través de las herramientas *material requirements planning* y *master production schedule* en una mype dark kitchen. *Ingeniería Industrial*, (46), 83-103. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2024.n046.6875>
- Cobeña Zambrano, M. A., & Medina León, B.Y. (2023). *Control interno en el área de inventario y su impacto en la rentabilidad del almacén de pinturas Bonilla, cantón La Maná, periodo 2020* [Tesis de licenciatura, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Repositorio de la Universidad Técnica de Cotopaxi. <https://repositorio.utc.edu.ec/items/eaea920a-1e75-4e27-9f78-468e25c69193>
- Córdova Rojas, I. A., Manguinuri Manihuari, L. E., Farfán Peña, S. A., & Romero Carazas, R. (2022). La mejora de la rentabilidad mediante el control de inventario. *Revista Colón. Ciencias, Tecnología y Negocios*, 9(2), 32-48. https://revistas.up.ac.pa/index.php/revista_colon_ctn/article/view/3105
- Creswell, J. W. (2020). *Investigación cualitativa y cuantitativa*. Pearson.
- García, L. E., Álvarez, S., García, S. G., Lavoignet, M., & Gregorio, L. (2020). Control de Inventarios para una refaccionaria de autopartes mediante clasificación ABC. *Revista de Investigación Aplicada en Ingeniería UPB/UPTap*, 5(1), 31-41. https://9a8dbbfc-17d7-4963-80de-b9cfb93efafd.filesusr.com/ugd/c1a3f2_8894c300668840e8b6d82901c8823d0a.pdf
- Guerrero, H. (2022). *Inventarios. Manejo y control* (3.ª ed.). Ecoe Ediciones.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández, C. C., & Baptista, L. P. (2022). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.
- Hernández, R., & Gómez, M. (2020). Análisis de la gestión de inventarios en una empresa de distribución de productos de consumo. *Revista de Investigación en Gestión de Operaciones*, 17(2), 1-12.
- Jacobs, F. R., & Chase, R. B. (2020). *Administración de operaciones. Producción y cadena de suministros*. McGraw Hill.
- Kotler, P., & Keller, K. L. (2020). *Marketing management*. Pearson.

- Núñez-Oviedo, M., & Tarazona-Torres, L. (2024). Gestión de inventarios de una compañía importadora de repuestos de transmisión de potencia de maquinaria pesada. *Ingeniería Industrial*, (47), 79-102. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2024.n47.7116>
- Osuna-Armenta, M. O., Nereyda-Rosario, C. P., Yuridia-Belén, C. P., Sandoval-Acosta, J. A., & Reyes-Zúñiga, C. G. (2023) Gestión de almacén en una empresa de implementos agrícolas en la región de Guasave, Sinaloa. *Revista Interdisciplinaria de Ingeniería Sustentable y Desarrollo Social*, 19, 551-569. <https://itsta.edu.mx/wp-content/uploads/2024/02/41-2023.pdf>
- Osuna, A. M. O, Félix, M. L., & Moreno, M. S. (2024). Optimización de operaciones a través de la planeación estratégica en una empresa del sector restaurante en la ciudad de Guasave, Sinaloa, México. En J. Félix, L. Félix & A. Alvarado (Eds.), *Estudios económicos y sociales* (t. I, pp. 265-292). Astra. https://astraeditorialshop.com/wp-content/uploads/2025/02/11_Optimizacion-de-operaciones-a-traves-de.pdf
- Pulla Morocho, C. A. (2020). Gestión de inventarios a través de la clasificación ABC a empresas dedicadas a la venta de materiales de construcción. *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*, 7. <https://www.eumed.net/rev/oel/2020/07/inventarios-abc.html>
- Stake, R. E. (2020). *Investigación con estudio de casos* (6.ª ed.). Morata.
- Tersine, R. J. (2020). *Principios de gestión de inventarios y materiales*. CRC Press.
- Villamil, C., Montesinos-González. S., & Vázquez Cid de León, C. (2024). Propuesta de mejora para el control y el manejo de un almacén con productos de papelería. *Ingeniería Industrial*, (47), 15-32. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2024.n47.7023>
- Wheelen, T. L., & Hunger, J. D. (2020). *Strategic management and business policy: Globalization, innovation, and sustainability* (15.ª ed.). Pearson.

EFFECTO DEL SISTEMA BASC Y SU PERCEPCIÓN EN LA MEJORA OPERATIVA DE UNA EMPRESA DE SERVICIOS LOGÍSTICOS

MARA DEL ROSARIO LÓPEZ RODRÍGUEZ

<https://orcid.org/0009-0006-9329-3421>

Ingeniería en Gestión Empresarial, División de Ciencias Industriales, Tecnológico
Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Guasave, México

MARCOS OCTAVIO OSUNA ARMENTA*

<https://orcid.org/0009-0006-2194-378X>

Ingeniería en Gestión Empresarial, División de Ciencias Industriales, Tecnológico
Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Guasave, México

XÓCHITL PATRICIA FLORES GUTIÉRREZ

<https://orcid.org/0000-0001-6468-3865>

Ingeniería Industrial, División de Ciencias Industriales, Tecnológico Nacional de México/
Instituto Tecnológico Superior de Guasave, México

YOHENIA LÓPEZ GARCÍA

<https://orcid.org/0009-0008-9944-2656>

Ingeniería en Gestión Empresarial, División de Ciencias Industriales, Tecnológico
Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Guasave, México

Recibido: 8 de febrero del 2025 / Aceptado: 28 de marzo del 2025

Publicado: 10 de junio del 2025

<https://doi.org/10.26439/ing.ind2025.n48.7749>

RESUMEN. El sistema de gestión Business Alliance for Secure Commerce (BASC) constituye una estrategia para fortalecer la seguridad y eficiencia en empresas del sector logístico, pues busca prevenir actividades ilícitas como el contrabando y el narcotráfico. La problemática radica en la necesidad de evaluar su impacto en la eficiencia operativa y la seguridad. Antes de su implementación, la empresa presentaba deficiencias en traza-

Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

* Autor corresponsal

Correos electrónicos en orden de aparición: mara.lr@guasave.tecnm.mx, marcos.aa@guasave.tecnm.mx, xochitl.fg@guasave.tecnm.mx, L2025010034@guasave.tecnm.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).

bilidad, cumplimiento normativo y seguridad; incluso, los empleados no disponían de una comprensión clara sobre la incidencia de este sistema en dichos aspectos. Para evaluar dicho impacto, se utilizó una metodología mixta que combinó revisión documental y un cuestionario estructurado en cinco secciones clave: datos generales, percepción sobre seguridad, eficiencia operativa, cumplimiento normativo y desafíos y beneficios del sistema. Los resultados indicaron mejoras en indicadores de desempeño: la puntualidad en entregas aumentó del 88 % al 96 %, las devoluciones se redujeron en un 51,4 %, el tiempo de inactividad de la flota disminuyó en un 43,7 % y los accidentes laborales bajaron en un 59 %. Estos hallazgos han evidenciado los beneficios tangibles del BASC, que constituye un referente para empresas del sector que buscan optimizar sus procesos, fortalecer sus sistemas de seguridad y mejorar el cumplimiento normativo para contribuir a un entorno más competitivo que fortalece la confianza con clientes y colaboradores.

PALABRAS CLAVE: competitividad / eficiencia operativa / optimización de operaciones / seguridad / sistema de gestión BASC

EFFECT OF THE BASC SYSTEM AND ITS PERCEPTION ON THE OPERATIONAL IMPROVEMENT OF A LOGISTICS SERVICES COMPANY

ABSTRACT. The Business Alliance for Secure Commerce (BASC) management system is a strategy to strengthen the security and efficiency of companies in the logistics sector by preventing illegal activities such as smuggling and drug trafficking. The problem lies in the need to evaluate its impact on operational efficiency and security. Prior to its implementation, the company had deficiencies in traceability, regulatory compliance and security, and employees did not have a clear understanding of the impact of this system on these aspects. To assess this impact, a mixed methodology was used, combining a document review and a questionnaire structured in five key sections: general data, perception of safety, operational efficiency, regulatory compliance, and challenges and benefits of the system. The results indicate improvements in performance indicators: on-time deliveries increased from 88 % to 96 %, returns were reduced by 51,4 %, fleet downtime decreased by 43,7 %, and occupational accidents decreased by 59 %. These findings demonstrate the tangible benefits of BASC, constituting a benchmark for companies in the sector that seek to optimize their processes, strengthen their safety systems and improve regulatory compliance, contributing to a more competitive environment that strengthens trust with customers and employees.

KEYWORDS: competitiveness / operational efficiency / optimization of operations / safety / BASC management system

INTRODUCCIÓN

La efectividad en procesos de prestación de servicios es fundamental en empresas que desean destacar en el mercado global y competitivo. El sector de logística está globalizado y altamente regulado; la seguridad y la eficiencia operativa son elementos fundamentales para garantizar la competitividad de las empresas del sector. De este modo, la gestión de riesgos, el cumplimiento normativo y la optimización de procesos emergen como pilares fundamentales para enfrentar los desafíos del comercio internacional.

En este contexto, el sistema de gestión Business Alliance for Secure Commerce (BASC) se presenta como una herramienta estratégica orientada a mitigar riesgos inherentes a la seguridad, eficiencia operativa y cumplimiento normativo en actividades de logística. Así, Duran-Romero et al. (2020) y World BASC Organization (2022) reconocen su aporte en la mejora de la eficiencia operativa y en el fortalecimiento de la confianza entre clientes y socios estratégicos.

A nivel empresarial, la implementación de certificaciones como el BASC representa una respuesta a las crecientes exigencias del comercio internacional y la necesidad de contar con estándares de seguridad alineados con las normativas globales. Como señalan Santamaría-Freire et al. (citados por Ubillus Sanandres, 2022), este sistema de gestión ayuda a las organizaciones a estructurar métodos de logística seguros durante los procesos de transporte y aduanas, de modo que sea más eficiente la operación de bodegas y de ventas.

Sin embargo, aunque hay estudios que han abordado la implementación del BASC, existe todavía una laguna en la literatura respecto a su impacto directo en la operatividad y percepción de los empleados en empresas de servicios logísticos. En este orden de ideas, se identificó que antes de la implementación del BASC, la empresa objeto de estudio presentaba una eficiencia operativa del 75 %, una tasa de incidentes de seguridad de diez eventos por mes y un cumplimiento normativo del 70 %. Asimismo, se registró un índice de puntualidad del 88 % y una tasa de devoluciones del 3,5 % (véase la Tabla 1). Dichos valores evidenciaban áreas de oportunidad para fortalecer su desempeño.

Tabla 1
Indicadores clave de desempeño (KPI)

Indicador	Antes de BASC
Eficiencia operativa (%)	75
Incidentes de seguridad (por mes)	10
Satisfacción del cliente (%)	78
Tiempo promedio de procesamiento de carga (horas)	48

(continúa)

(continuación)

Indicador	Antes de BASC
Cumplimiento de normativas internacionales (%)	70
Tiempo de respuesta ante riesgos (horas)	12
Índice de puntualidad (%)	88
Costo logístico por unidad (US\$)	120
Tasa de devoluciones (%)	3,5
Tiempo de inactividad de flota (%)	8
Índice de accidentes laborales (%)	2,2

Ante esta situación, el presente estudio tiene como objetivo principal analizar el impacto de la certificación BASC en la operatividad y la seguridad de la empresa, con especial atención a la percepción de los colaboradores respecto a su implementación. Se plantea demostrar cómo la adopción de este sistema contribuye a la optimización de los procesos logísticos, la reducción de incidentes de seguridad y la mejora del cumplimiento de normativas internacionales.

Para ello, se establecieron las siguientes preguntas de investigación: ¿cómo influye la implementación del BASC en la eficiencia operativa de la empresa?, ¿cuál es la percepción de los empleados sobre la seguridad y la confiabilidad de las operaciones tras la certificación?, y ¿qué impacto tiene el BASC en la reducción de incidentes y en el cumplimiento normativo?

Existen investigaciones sobre el sistema BASC centradas en empresas de logística en América Latina. Por ejemplo, en el estudio realizado por Cervantes et al. (2024), que analizó la seguridad en las compañías de servicios logísticos en Colombia, se observó que los operadores identificaron como amenazas la delincuencia, la piratería y el contrabando. El estudio manifestó que las empresas participantes están al tanto de la norma ISO 28000 y que todo el personal que labora para estas empresas cuenta con la certificación en la norma BASC. Se concluyó que los operadores logísticos en Colombia deben ver la implementación de la ISO 28000 y otras iniciativas como una oportunidad, ya que existe un espacio comercial que debe capitalizarse hacia la mejora en la gestión de la seguridad a lo largo de la cadena de suministro.

Otra contribución es el estudio realizado por García y Quispe (2021), enfocado en analizar el impacto de la certificación BASC en la cantidad de servicios de exportación de una empresa de logística. Se llegó a la conclusión de que la certificación BASC tiene un efecto significativo en el número de servicios de exportación ofrecidos por la empresa, el cual aumentó en un 16,3 % con respecto al periodo evaluado con anterioridad.

Respecto a los estudios realizados sobre BASC, hay una inclinación hacia el análisis de aspectos de seguridad en operaciones logísticas, eficiencia en operaciones y cumplimiento en normativas. Los estudios actuales sobre ese sistema de gestión atienden principalmente a sus dimensiones principales: seguridad, eficiencia operativa y cumplimiento normativo.

Seguridad en la cadena de suministros

La cadena de suministros, según Terrado (como se cita en Ubillus Sanandres, 2022), es un conjunto de instalaciones y actividades de distribución para lograr que los materiales recorran el proceso de transformación hasta la fase final y llegar al cliente. De esta manera, la cadena de suministros comienza con los proveedores y termina con los clientes finales.

La seguridad en la cadena de suministros constituye un aspecto considerado como uno de los principales beneficios atribuidos al sistema BASC que apoya en el fortalecimiento de la seguridad en empresas del sector logístico. Según Asprilla-Zúñiga y Solano-Cerón (2024), la certificación BASC permite estructurar un modelo de control de seguridad basado en estándares internacionales, el cual reduce la incidencia de actividades ilícitas como el contrabando y el narcotráfico. En un estudio realizado en Colombia, García y Quispe (2021) encontraron que las empresas certificadas experimentaron una reducción significativa en los incidentes de seguridad, lo que contribuyó a una mayor confianza por parte de clientes y socios comerciales.

La implementación de la certificación BASC ha sido reconocida por mejorar aspectos de seguridad en las operaciones logísticas. Según Irrazabal (2023), esta certificación garantiza seguridad durante los procesos de importación y exportación, que es básico en la reducción de riesgos principalmente en contratiempos legales y financieros dentro de las operaciones comerciales internacionales.

Eficiencia operativa

En la industria logística, el indicador de eficiencia operativa representa un elemento fundamental en este sector. En este contexto, según Bernal y Lopera (2024), este concepto consiste en la reducción de costos y tiempos de despacho, así como en la diferenciación en el servicio, factores que construyen la lealtad y la confianza a través de una comunicación proactiva. De esta manera, las certificaciones adoptadas por las empresas se enfocan en la mejora de la eficiencia operativa, que impacta en la relación con los clientes, quienes al final valoran la rapidez y la confianza en el servicio de entrega de las mercancías.

En el caso del sistema BASC, la eficiencia operativa es otro de los aspectos clave evaluados. En este sentido, Hurtado-Pérez y Quezada-Gonzaga (2023) describen que esta certificación mejora la optimización de procesos, pues disminuye los errores en la cadena de suministro y agiliza los tiempos de respuesta ante incidentes. En lo que se refiere a los productos, Santamaría-Freire et al. (como se cita en Ubillus Sanandres, 2022) resaltan que el sistema permite mejorar la trazabilidad de los productos, lo que se traduce en una mayor eficiencia en la gestión de inventarios y tiempos de entrega.

Cumplimiento normativo

El cumplimiento normativo es el conjunto de actividades, procesos, prácticas o medidas que una empresa implementa al momento de desarrollar una actividad en apego a las leyes, regulaciones y normativas, e incluye estándares éticos aplicables al sector industrial en que se desarrolle la organización (Facephi, 2023). Por ello, este es un eje fundamental del BASC, dado que las empresas certificadas deben alinearse con estándares internacionales de seguridad y calidad. De acuerdo con Chamorro y Vásconez (2023), esta implementación facilita la documentación y auditoría de los procesos, así como reduce los errores administrativos y mejora la transparencia operativa.

En este sentido, Fontalvo (2013) señala que el cumplimiento normativo fortalece la competitividad de las empresas en mercados internacionales, ya que muchas organizaciones requieren que sus proveedores cuenten con certificaciones de seguridad reconocidas. De acuerdo con lo anterior, la certificación BASC apoya en el cumplimiento de regulaciones a nivel nacional e internacional relacionadas en la seguridad en operaciones comerciales, en sectores sensibles como la exportación. Aunado a ello, este sistema de gestión ayuda en la mejora de la confianza y reputación de la empresa en el mercado, lo que agrega valor en el aspecto de la competitividad.

Con todo lo que se ha descrito sobre los aspectos documentados, la literatura sobre la influencia de la certificación BASC en la eficiencia operativa es limitada. La mayoría de los estudios se centran en la mejora de la seguridad y el cumplimiento normativo, pero hay una falta de investigación empírica que evalúe cómo el BASC impacta directamente en la eficiencia operativa de las empresas del sector logístico. Otro aspecto a considerar es que no existen estudios que analicen la percepción de los empleados sobre la implementación del sistema BASC y su incidencia en la cultura organizacional, por lo que esto representa un área que requiere atención para comprender completamente los efectos de la certificación en todos los aspectos de la operación empresarial. Por ese motivo, el presente estudio tiene como propósito abordar estos aspectos de manera integral, no solo analizar los indicadores KPI, sino también la percepción de los trabajadores y su incidencia en la gestión del cambio dentro de la organización, y que ello se refleje en la relación con sus clientes.

METODOLOGÍA

El abordaje metodológico de esta investigación se basa en el enfoque mixto, mediante el uso de técnicas cuantitativas y cualitativas para evaluar el impacto de la certificación BASC en la operatividad, seguridad y cumplimiento normativa según la percepción de los empleados a raíz de la implementación del sistema. De acuerdo con Hirose y Creswell (2023), la combinación de estos enfoques permite una mayor profundidad en el análisis, ya que no solo se miden indicadores objetivos, sino que también se explora la percepción de los empleados sobre la implementación del sistema.

La determinación del tamaño de la muestra es crucial para garantizar la validez y confiabilidad de los resultados en una investigación. Según Sánchez-Rodríguez (2022), un tamaño de muestra adecuado permite estimar parámetros poblacionales con el grado de precisión deseado y detectar diferencias significativas entre grupos.

Con el fin de garantizar la representatividad de los resultados, se accedió al muestreo intencionado, en el que se seleccionaron a treinta trabajadores de diferentes áreas de la empresa, que incluye personal de puestos: operativo, administrativo, de seguridad, logístico y directivo. Este método resulta adecuado, como lo describe Fusch y Ness (2015), en investigaciones de tipo cualitativo cuando se requiere de información detallada de individuos que están directamente relacionados con el fenómeno de estudio.

El tamaño de la muestra se estableció de acuerdo con el criterio de saturación teórica. Se consideraron estudios previos sobre la implementación del sistema BASC en empresas del sector logístico y se determinó que una muestra de treinta participantes permite conocer patrones de percepción y, con base en esto, evaluar los cambios en los indicadores KPI con confiabilidad.

En lo que respecta al diseño y validación de la herramienta de recopilación de datos, se diseñó un cuestionario estructurado compuesto por diez preguntas, distribuidas en cinco secciones (véase la Tabla 2).

Tabla 2
Contenido de la herramienta de recolección de datos

Sección	Objetivo	Descripción de las preguntas
Sección I. Datos generales	Contextualizar las respuestas y examinar cómo las percepciones difieren según los puestos o la experiencia en la organización	Antigüedad en la empresa Área en la que labora
Sección II. Percepción de la seguridad	Evaluar cómo los colaboradores perciben el impacto de BASC en la seguridad de las operaciones logísticas	Desde la implementación del sistema BASC, ¿cómo percibe el nivel de seguridad en las operaciones logísticas? ¿Cree que BASC ha ayudado a reducir incidentes como robos o contrabando en las operaciones?
Sección III. Impacto en la eficiencia operativa	Analizar si la implementación de BASC ha mejorado la eficiencia en los procesos logísticos	¿Cómo evalúa el impacto de BASC en la optimización de tiempos de entrega? ¿Percibe mejoras en los procesos logísticos desde la implementación de BASC?
Sección IV. Cumplimientos normativos	Conocer cómo BASC ha ayudado a la empresa a alinearse con normativas internacionales y estándares de seguridad	¿Considera que BASC ha facilitado el cumplimiento de normativas internacionales aplicables? ¿Evalúa positivamente la alineación de los procesos de la empresa con estándares globales de seguridad tras la adopción de BASC?
Sección V. Retos y beneficios de la implementación	Identificar las principales dificultades enfrentadas durante la adopción del sistema BASC y los beneficios percibidos	¿Qué tan significativo considera los beneficios obtenidos por la implementación de BASC? ¿Qué nivel de dificultad percibió en el proceso de implementación de BASC?

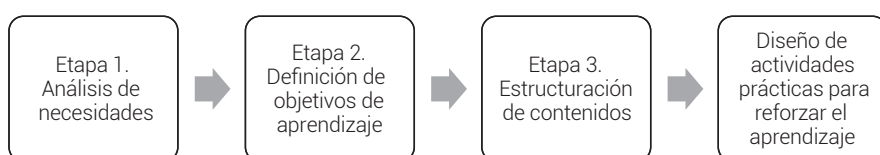
El cuestionario fue validado por un juicio de expertos que proporcionó confiabilidad al instrumento diseñado (Morales & Velázquez, 2024). Además, se consideró una revisión realizada por tres especialistas en logística y seguridad con experiencia en operaciones con la certificación BASC. Esta fiabilidad en el instrumento se evaluó a través de una prueba piloto con cinco empleados, en la que el coeficiente alfa de Cronbach fue de 0,87 de valor, lo cual indicó el nivel de consistencia interna aceptable.

Con base en los hallazgos de esta exploración y de los resultados de la encuesta, se planteó desarrollar un proceso de capacitación que complementara aspectos de sensibilización de los empleados frente a la implementación del sistema en la organización. Las actividades del proceso de capacitación y sensibilización fueron diseñadas para mejorar conocimientos y habilidades del personal en relación con la operatividad de BASC. Para el proceso de capacitación, se consideraron temas como

seguridad, eficiencia operativa y cumplimiento normativo. De esta manera, el diseño del programa de capacitación se halla bajo un enfoque estratégico que debe considerar las demandas de la organización, la optimización de las metodologías de capacitación empresarial y las exigencias particulares del sistema de gestión BASC (Asprilla-Zúñiga & Solano-Cerón, 2024). Este procedimiento se llevó a cabo en diferentes fases para garantizar que los materiales fueran pertinentes, útiles y acorde con las metas de la organización (Avendaño et al., 2021) (véase la Figura 1).

Figura 1

Etapas del diseño del programa de capacitación



Etapa 1. Análisis de necesidades

Se realizó un diagnóstico detallado de las áreas críticas en las operaciones logísticas, donde se identificaron los principales riesgos y oportunidades. Los resultados de este análisis definieron los temas a tratar en los cursos.

Etapa 2. Definición de objetivos de aprendizaje

El curso de capacitación debe tener objetivos claros y medibles, enfocados en proporcionar a los participantes conocimientos prácticos y habilidades aplicables a sus tareas diarias. Esos objetivos se alinearon con los principios del sistema BASC.

Etapa 3. Estructuración de contenidos

Tiene orden lógico, pues comenzó con los fundamentos generales y avanzó hacia aspectos más específicos.

Los datos obtenidos se analizaron con herramientas estadísticas descriptivas en Excel y Google Forms, los cuales permitieron identificar tendencias y correlaciones entre la implementación del BASC y las mejoras en eficiencia operativa, seguridad y cumplimientos normativos, y se consideraron los beneficios y los retos de la implementación. Los resultados se compararon con hallazgos de estudios previos en empresas del sector logístico con el fin de analizar su aplicabilidad en otras organizaciones. Con esta metodología se replicó el estudio en otras empresas logísticas, lo que facilitó la adaptación del cuestionario en distintos contextos operativos. La

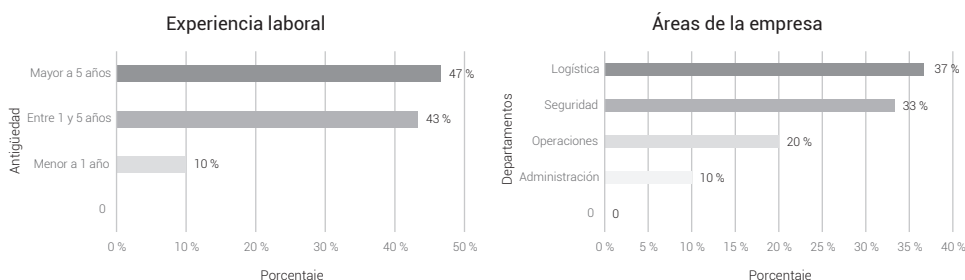
justificación del tamaño de la muestra, el proceso de validación del cuestionario y el análisis de datos garantizó la confiabilidad de los resultados. Ello proporcionó una base sólida para futuras investigaciones sobre la certificación BASC en el sector.

RESULTADOS

Los resultados, obtenidos mediante las encuestas aplicadas a los colaboradores de la empresa, permitieron evaluar aspectos relacionados al sistema BASC, los cuales incluyeron la percepción de seguridad, la eficiencia operativa, el cumplimiento normativo y los efectos derivados de la implementación del sistema. De acuerdo con la Figura 2, referente a la sección I, se contextualiza cómo las percepciones varían según los cargos o la experiencia dentro de la organización. Aquí se reveló que, respecto de la experiencia laboral de los empleados, el 47 % ha estado en la empresa por más de 5 años; el 43 %, entre uno y cinco años; y el 10 %, menos de un año. De este último grupo, el 37 % pertenece al departamento de logística; el 33 %, al departamento de seguridad; el 20 %, al área de operaciones; y el 10 %, al personal administrativo.

Figura 2

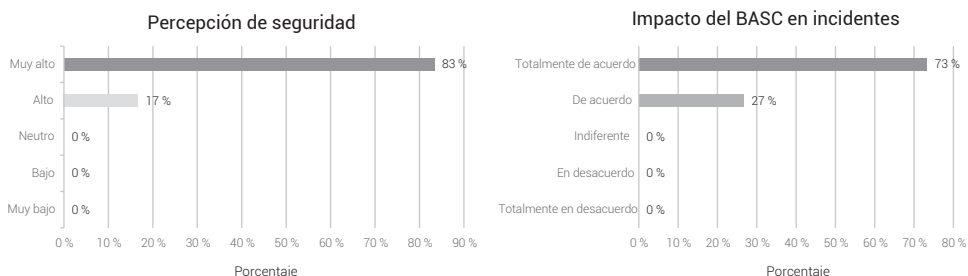
Experiencia y área laboral de los encuestados



Para dar sentido a este estudio, es necesario complementar estos resultados con un análisis cualitativo enfocado en la percepción de los empleados de la empresa. En la sección II del cuestionario, enfocada en conocer sobre la percepción de la seguridad (ver la Figura 3), el 83 % de los encuestados percibió un nivel "muy alto" de seguridad en las operaciones, mientras que el 17 % evaluó la dimensión de seguridad como "alta". Esto reforzó la hipótesis de que la implementación del sistema BASC es una estrategia para mejorar la gestión de las operaciones, la seguridad y el cumplimiento normativo de la organización. En este sentido, el 73 % de los trabajadores expresa estar "totalmente de acuerdo" que tras la implementación de la certificación se han reducido incidentes de seguridad, lo que fortalece la confiabilidad hacia la cadena de suministro.

Figura 3

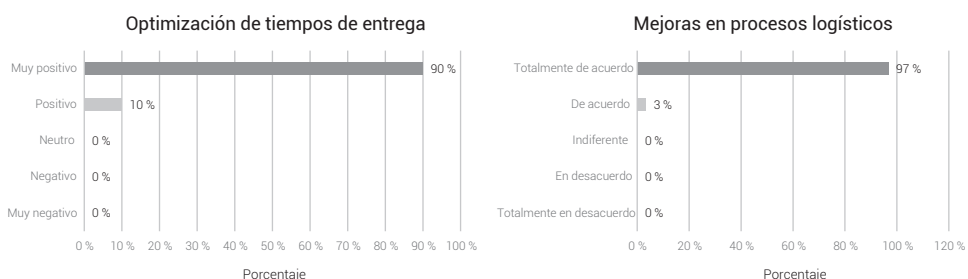
Percepción de la seguridad del sistema BASC



En la sección III, en el indicador de la eficiencia operativa, de acuerdo con la Figura 4, el 90 % de los participantes evaluaron que la optimización en los tiempos de entrega era "muy positiva", mientras que el 97 % manifestó estar "totalmente de acuerdo" que la implementación del BASC ha mejorado los procesos operativos de la logística en la empresa.

Figura 4

Mejora en la operatividad de la empresa

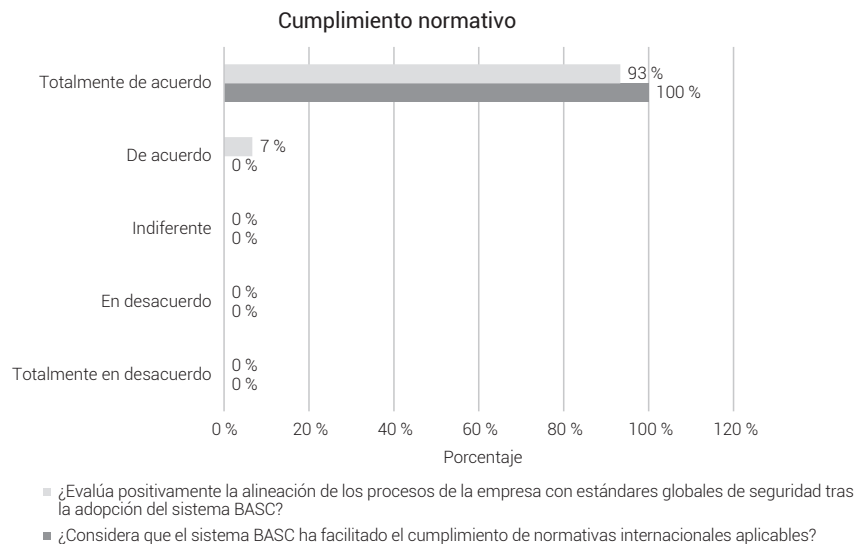


La información cualitativa sobre seguridad y optimización operativa sugiere que los empleados perciben que la adopción del sistema BASC fortalece aspectos de seguridad y la eficiencia en las operaciones. Este resultado se alinea con la disminución del 43,7 % en el tiempo de inactividad de la flota y la reducción en el tiempo de procesamiento de la carga en un 18 %.

La sección IV, como se ve en la Figura 5, está centrada en conocer cómo el sistema BASC ha ayudado a la empresa a alinearse con normativas internacionales y estándares de seguridad; se considera además si se ha presentado un impacto positivo en cuanto a la capacidad de competir en mercados internacionales. Este análisis se integró por

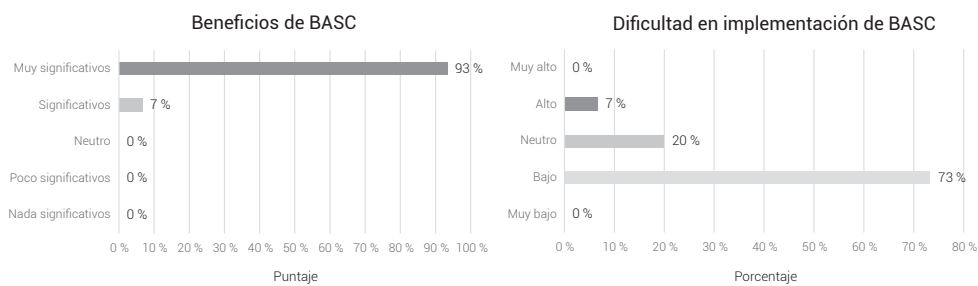
dos cuestionamientos: ¿considera que el sistema BASC ha facilitado el cumplimiento de normativas internacionales aplicables?, donde el 100 % respondió estar “Totalmente de acuerdo”, y ¿evalúa positivamente la alineación de los procesos de la empresa con estándares globales de seguridad tras la adopción del sistema BASC?, donde el 93 % respondió estar “Totalmente de acuerdo”. Este resultado tiene relación con la reducción del 25 % en los incidentes de incumplimiento y con la mejora del 25 % en resultados de la auditoría operativa.

Figura 5
Cumplimiento normativo



En la sección v, referente al tema de los retos y beneficios de la implementación del sistema, puede observarse en la Figura 6 que el 93 % sugirió que el sistema BASC ha logrado cumplir y superar las expectativas en áreas clave. También se destaca que el 73 % consideró que la implementación del sistema tiene baja dificultad. Este elemento tiene relación con la cultura organizacional, por lo que el análisis cualitativo reveló que los trabajadores han podido desarrollar mayor conciencia sobre seguridad, eficiencia operativa y cumplimiento normativo.

Figura 6
Retos y beneficios del sistema BASC



A manera de seguimiento tras la implementación del sistema BASC en la empresa, se consideró la ejecución de un programa de capacitación y sensibilización como parte fundamental en este proceso. Se identificó que trabajadores de mayor antigüedad en esta empresa contaban con una visión más estructurada de los impactos benéficos que este sistema ha aportado, mientras que los empleados nuevos requirieron un periodo de tiempo para familiarizarse con los procedimientos y normas que conlleva.

Al llevar a cabo la revisión documental sobre la implementación de la norma y estándares internacionales BASC, se analizó la *Guía de implementación BASC* (versión 6), que es considerado un documento que marca las directrices y procedimientos para la implementación y el mantenimiento del sistema de gestión. El contenido de este documento está estructurado por una introducción en la que se explica el contexto de la norma y la descripción de los objetivos, los principios y el marco de trabajo (BASC, 2022). En este análisis documental, se definió que la implementación de la norma BASC requiere un enfoque estructurado y un compromiso a largo plazo de parte de la alta dirección. Según esta guía, se incluyen fases fundamentales del proceso de implementación, como se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3
Proceso de implementación del sistema BASC

Fase	Descripción
Evaluación de riesgos	Análisis de los riesgos internos y externos. Este análisis permite identificar vulnerabilidades y establecer medidas de seguridad apropiadas (World BASC Organization, 2022).
Diseño de políticas y procedimientos de seguridad	Establecimiento de políticas de seguridad que aborden la prevención de riesgos e incidentes. Estos procedimientos deben incluir controles sobre el acceso a instalaciones, la seguridad en el transporte y la trazabilidad de los productos (Jiménez Kunce, 2023).

(continúa)

(continuación)

Fase	Descripción
Capacitación y sensibilización	El personal de la organización, desde la alta dirección hasta los operativos, debe recibir capacitación sobre las políticas y procedimientos de seguridad, así como sobre cómo identificar señales de actividades sospechosas. La cultura de seguridad debe ser parte integral de la operación de la empresa (Serra Mazzei, 2022).
Auditoría y monitoreo continuo	Después de implementadas las políticas de seguridad, se deben realizar auditorías internas y externas periódicas para evaluar su efectividad. Las auditorías aseguran que las medidas adoptadas son suficientes para mitigar los riesgos y cumplir con los estándares de la norma (World BASC Organization, 2022).
Recertificación y mejora continua	Para mantener la certificación BASC, es necesaria la recertificación y demostrar una mejora continua en sus sistemas de gestión de seguridad (Hernández Morales, 2022).

Se diseñó el programa de capacitación y sensibilización sobre el BASC con el propósito de fortalecer los conocimientos y habilidades de los empleados en relación con la implementación y operación del sistema. El diseño de este programa da seguimiento a la operatividad de la certificación dentro de la empresa, por lo que los contenidos propuestos son los que se muestran en la Figura 7.

Figura 7

Contenidos de la capacitación

Módulo I. ¿Qué es el Sistema BASC?	• Historia y propósito • Principios y estándares • Beneficios para la empresa
Módulo II. Envíos a Frontera	• Identificar y gestionar riesgos asociados al tránsito internacional de mercancías • Cumplir con los requisitos aduaneros y normativos exigidos en las fronteras • Garantizar la integridad de los productos durante el traslado, mediante el uso de técnicas avanzadas de embalaje y etiquetado
Módulo III. Revisión de Cajas de Tráiler	• Métodos de inspección física • Uso de tecnologías • Documentación y reportes
Módulo IV. Gestión de Riesgos Logísticos	• Planes de contingencia • Cultura de la seguridad
Módulo V. Simulación de Inspecciones y Auditorías	• Revisión de procesos • Identificación de áreas de mejora • Evaluación del desempeño

El desarrollo de la capacitación fue de manera presencial para que los colaboradores expresen dudas y comentarios. Esto ayudó a ajustar los contenidos y enfoques en función a las necesidades detectadas durante el proceso de formación. Después de la implementación de la certificación BASC, la empresa experimentó mejoras en indicadores clave de desempeño, en la Tabla 4 se describen los resultados de las mediciones de cada uno.

Tabla 4

Indicadores clave de desempeño (KPI) después de la certificación BASC

Indicador	Después de BASC
Eficiencia operativa (%)	90
Incidentes de seguridad (por mes)	8
Satisfacción del cliente (%)	90
Tiempo promedio de procesamiento de carga (horas)	39
Cumplimiento de normativas internacionales (%)	95
Tiempo de respuesta ante riesgos (horas)	8
Índice de puntualidad (%)	96
Costo logístico por unidad (US\$)	105
Tasa de devoluciones (%)	1,8
Tiempo de inactividad de flota (%)	4,5
Índice de accidentes laborales (%)	0,9

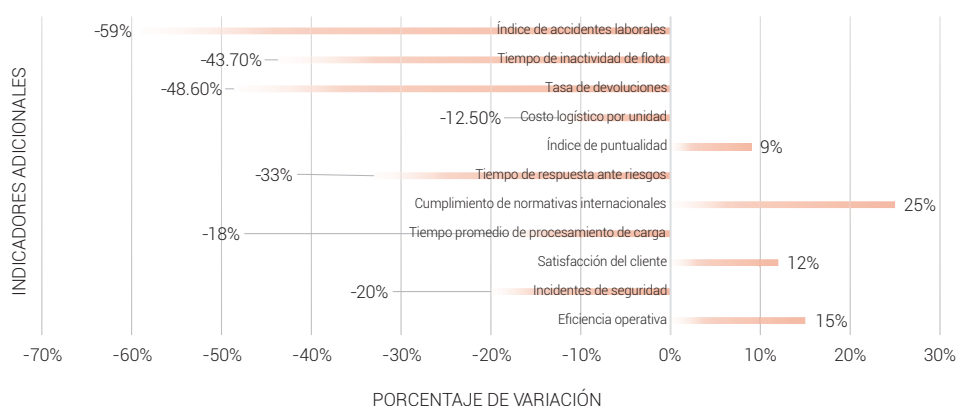
La Figura 8 concentra las variaciones de los KPI después de la implementación del sistema BASC. Se observó que el tiempo de respuesta ante riesgos disminuyó un 33 %, el tiempo promedio de procesamiento de carga se redujo un 18 % y hubo 20 % menos incidentes de seguridad. Esto significa que, actualmente, la organización responde de manera más rápida y oportuna a los incidentes de seguridad. Se mejoró el tiempo que transcurre desde que se recibe un pedido hasta que se prepara para el envío y se presentó un menor número de accidentes laborales.

Por su parte, los indicadores de cumplimiento de pedidos, satisfacción del cliente y eficiencia operativa mejoraron un 25 %, 12 % y 15 %, respectivamente, lo cual afectó positivamente la competitividad de la empresa, su calidad de servicio y su rentabilidad. Además, se muestra que el índice de puntualidad aumentó del 88 % al 96 %, de modo que superó la meta establecida y garantizó entregas más confiables. El costo logístico por unidad se redujo en un 12,5 %, lo que optimizó los recursos y mejoró la rentabilidad operativa. La tasa de devoluciones disminuyó de un 3,5 % a un 1,8 %, lo que indica una notable mejora en la precisión de los procesos logísticos y una reducción en errores de entrega.

Por otro lado, el tiempo de inactividad de la flota se redujo en un 43,7 %, lo que optimizó la disponibilidad de los vehículos y aseguró una mayor continuidad en las operaciones. Asimismo, el índice de accidentes laborales experimentó una reducción del 59 %, pues pasó de un 2,2 % a un 0,9 %, lo que demuestra un entorno de trabajo más seguro y el impacto positivo de las medidas de seguridad implementadas.

Figura 8

Porcentaje de variación en indicadores iniciales de desempeño



En general, estos resultados reflejan el impacto positivo del sistema BASC en la operatividad y seguridad de la empresa, pues evidencian una mejora en la eficiencia, una reducción de costos y un fortalecimiento de la seguridad tanto en la gestión logística como en el entorno laboral. Se puede reflejar que la combinación de los resultados cuantitativos y cualitativos, es decir el enfoque mixto abordado, confirma que la implementación del sistema de gestión BASC ha impactado de forma positiva en la seguridad, la eficiencia operativa y el cumplimiento normativo. Ello trae consigo el fortalecimiento de la cultura organizacional por el hecho de haber realizado acciones para que los empleados de la empresa tomen conciencia de las mejoras y beneficios de los KPI tras la implementación del sistema.

DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio han confirmado que la implementación del sistema de gestión BASC impacta positivamente en aspectos de seguridad, eficiencia operativa y cumplimiento normativo en la empresa analizada. Bajo el enfoque cuantitativo, existe evidencia de la reducción en un 55,8 % en la tasa de pérdidas en envíos y la mejora del 9 % en la puntualidad en entregas. Asimismo, la disminución en el índice de

accidentes laborales en un 59 % muestra la efectividad del BASC, el cual es denominado por Freire Torres (2023) como una estrategia preventiva en la gestión de riesgos. De la misma manera, la evaluación cualitativa reveló que el 83 % de los trabajadores percibe la seguridad en las operaciones como "muy alta", lo que es un indicador importante a considerar en la integración efectiva del sistema de gestión en la cultura organizacional.

En el ámbito de la eficiencia operativa, los hallazgos reflejan que el BASC ha logrado optimizar las operaciones internas, lo que ha llevado a reducir tiempos de procesamiento, como el caso de la carga en un 18 % y los tiempos de inactividad de la flota en un 43,7 %. Estos resultados se alinean con estudios anteriores que resaltan la importancia de los sistemas de gestión en la seguridad y la mejora en el desempeño en las operaciones de la industria logística (Chu et al., 2020).

Las implicaciones prácticas de este trabajo, desde el punto de vista aplicado, indican que la implementación del sistema BASC facilita que la empresa se adapte a las regulaciones internacionales, lo que apoya en la mejora a la transparencia y en la reducción de los riesgos o incidentes en las operaciones logísticas. Debido a lo anterior, la capacitación continua de los empleados es un elemento importante al considerar que representa un componente necesario para garantizar la eficacia en la implementación del sistema en la empresa (Serra Mazzei, 2022).

En cuanto a la seguridad y confianza, no se debe dejar de lado la percepción de los empleados, la cual indudablemente impacta en su desempeño y compromiso hacia la organización. Este aspecto se ha identificado en investigaciones sobre modelos de aceptación de tecnología que constituyen un ingrediente importante en la aceptación de un sistema de gestión, en el que se desarrolla una relación estrecha en la capacitación o formación del recurso humano y la comprensión de los beneficios del sistema por parte del personal involucrado (García-Salirrosas & Millones-Liza, 2023).

En lo que se refiere a las implicaciones teóricas, el presente estudio contribuye de forma importante en la literatura sobre la implementación del sistema BASC, ya que se brinda evidencia empírica sobre su impacto en empresas del sector logístico. Este es un tema limitado abordado en estudios previos, ya que en la revisión bibliográfica se pudo constatar que la mayoría de los estudios abordan al BASC desde el punto de vista regulatorio, por lo que este estudio incluye la percepción de los trabajadores con un factor determinante para la efectividad en la implementación y seguimiento.

De igual forma, se confirma que el sistema de gestión BASC impacta de manera positiva en índices de desempeño, como seguridad, eficiencia operativa y cumplimiento operativo. Ello, a su vez, influye en la cultura organizacional al reforzar la teoría de que los sistemas de gestión no deben considerarse solamente como estrategias de control, sino que hay que aprovecharlas como herramientas que optimizan el desempeño de

las empresas que los implementan (Mora Acero, 2023). Tal como lo señalan Kareem y Hussein (2019), el desarrollo de capital humano tiene un impacto en el rendimiento y la eficacia de la empresa.

Por lo mencionado, este trabajo contribuye a atender aspectos que no se abordan en la revisión literaria al brindar un estudio integral del sistema BASC desde la perspectiva cuantitativa y cualitativa. Las investigaciones previas se enfocan únicamente en los aspectos tangibles del sistema, por lo que este estudio enfatiza en el papel que juega la percepción de los trabajadores en la implementación exitosa del sistema. Con esto, se evidencia la importancia de ejecutar estrategias de capacitación y sensibilización adaptadas al contexto de cada organización, como lo menciona Jauregui Cortavarria (2021), quien aborda la importancia de la capacitación y sensibilización al momento de implementar la norma BASC. Ello coincide con la investigación de Mabasa y Flotman (2022), en el sentido de que es crucial considerar las experiencias de los trabajadores en la gestión del cambio al momento de implementar un sistema de gestión del desempeño.

Debido a que el sistema de gestión BASC es un tema relevante en empresas del sector logístico, los resultados de este estudio revelan la necesidad de que en futuras investigaciones se analice el impacto en otras dimensiones del desempeño organizacional, tal como la satisfacción del cliente y la sostenibilidad financiera de las empresas que ya están certificadas, lo que permitirá contar con un marco más completo sobre la eficiencia de este tipo de sistemas de gestión.

CONCLUSIONES

La implementación del sistema de gestión BASC ha generado un impacto positivo en la empresa analizada, puesto que se evidencian mejoras en eficiencia operativa, seguridad y cumplimiento normativo. En cuanto a la eficiencia operativa, se mostró la optimización en los procesos internos que influyeron en la reducción de errores operativos, pérdidas de envíos y una mejora en la puntualidad de las entregas.

En lo que respecta a los incidentes de seguridad, estos disminuyeron al igual que el índice de accidentes laborales, de modo que se ha logrado fortalecer la seguridad en el entorno laboral. Asimismo, la organización ha alcanzado una mayor alineación con los estándares normativos internacionales.

En el ámbito cualitativo, la percepción de los empleados ha sido positiva, lo que lleva a considerar que la certificación BASC ha facilitado la comprensión de normativas y ha apoyado en la cultura organizacional orientada a la seguridad y el cumplimiento normativo. Los resultados describen que el BASC es una estrategia de control que contribuye a la optimización del desempeño organizacional y, por consiguiente, a la competitividad de la empresa.

Aunque los resultados de esta investigación reflejan resultados positivos a raíz de la implementación del sistema BASC, aún existen ciertas limitantes metodológicas que se tienen que considerar. Por ejemplo, el tamaño de la muestra estuvo limitado a una sola empresa de la industria logística, lo que restringe la generalización de los resultados para otras empresas. Por lo tanto, en investigaciones futuras será interesante ampliar el tamaño de la muestra y considerar a empresas con otras certificaciones y estructuras organizacionales a fin de conseguir una visión que sea más representativa del impacto del sistema BASC en las organizaciones.

Otra de las limitaciones de este estudio es la ausencia de datos y de KPI que revisen los efectos de la implementación del BASC a largo plazo. Se considera que un estudio longitudinal ayudará a entender la sostenibilidad de los aspectos positivos observados y la evolución de la percepción de los empleados en el transcurso del tiempo. Como se presentó, la metodología de este estudio se basa en encuestas y análisis descriptivo, lo que conlleva a que en investigaciones siguientes sea posible utilizar métodos cualitativos, como entrevistas a profundidad o estudio de caso para lograr la comprensión de los procesos de implementación y factores que inciden en su éxito de manera detallada.

Algunas recomendaciones para futuros estudios orientados a ampliar el conocimiento sobre la incidencia del sistema BAS en las empresas incluyen el análisis de la relación del BASC con la satisfacción del cliente, con el fin de entender cómo incide en la percepción de la calidad del servicio. Asimismo, se sugiere investigar el impacto financiero del sistema en las organizaciones, su aplicabilidad en otros sectores industriales y la evaluación de las estrategias de capacitación y sensibilización dirigidas a los empleados de las empresas certificadas para mejorar la percepción de seguridad dentro de la institución. También resulta pertinente desarrollar estudios comparativos entre empresas certificadas y no certificadas, a fin de examinar diferencias en el desempeño operativo, el cumplimiento normativo y la percepción de la seguridad laboral.

En general, el presente trabajo ofrece una base que detalla los beneficios de la implementación del sistema de gestión BASC en empresas de servicios logísticos. Sin embargo, en estudios posteriores, se podría ampliar el alcance de los resultados, considerar las limitaciones y buscar otras dimensiones en las que impacta el sistema.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

Mara del Rosario López: escritura-borrador original, redacción (revisión y edición), conceptualización, metodología, investigación. **Marcos Octavio Osuna:** redacción (revisión y edición), visualización, investigación. **Xóchitl Patricia Flores Gutiérrez:** redacción (revisión y edición), visualización. **Yohenia López:** metodología, investigación, recolección de información, análisis e interpretación de datos.

REFERENCIAS

- Asprilla-Zúñiga, H. L., & Solano-Cerón, N. A. (2024). *Plan estratégico de la empresa Zalt Antepuerto Centracar S. A. S., con un enfoque en el análisis del contexto para el diseño de un sistema de gestión y control de seguridad basado en la norma internacional BASC* [Tesis de licenciatura, Universidad Católica de Manizales]. Repositorio de la Universidad Católica de Manizales. <https://repositorio.ucm.edu.co/handle/10839/4491>
- Avendaño, D. M., Bermúdez, M. C., Jaramillo, J. J., & Pulido, P. C. (2021). *Fases de diagnóstico, diseño y capacitación del sistema de gestión de calidad en procesos operativos de acuerdo con la norma ISO 9001:2015 para la empresa Techboss en Bogotá* [Tesis de licenciatura, Universidad El Bosque]. Repositorio de la Universidad El Bosque. <https://hdl.handle.net/20.500.12495/6550>
- Bernal, S. & Lopera, G. (2024). *Mejora en la eficiencia operacional al aplicar la certificación OEA en una agencia de aduana del Perú* [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/682967/Bernal_AS.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cervantes, L. C., Bermúdez, L., & Pulido, V. (2024). Situación de la investigación y su desarrollo en el Perú: reflejo del estado actual de la universidad peruana. *Pensamiento y Gestión*, (46), 311-322. <https://doi.org/10.14482/pege.46.7615>
- Chamorro, D. M., & Vásconez, R. R. (2023). *Efecto de la implementación de "Alianza empresarial para un comercio seguro" (BASC) en la consolidadora de carga Air-Sea Logistic* [Tesis de maestría, Universidad de Guayaquil]. Repositorio de la Universidad de Guayaquil. <https://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/74177>
- Chu, C., Park, K., & Kremer, G. (2020). A global supply chain risk management framework: an application of text-mining to identify region-specific supply chain risks. *Advanced Engineering Informatics*, 45, 101053. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101053>

- Duran-Romero, D. E., Lechuga-Cardozo, J. I., Guisao-Giraldo, E. Y., & Leyva-Cordero, O. (2020). Gestión de la seguridad de las empresas prestadoras de servicio logístico en Colombia. *Pensamiento & Gestión*, (48), 12-37.
- Facephi. (2023, 3 de octubre). *Cumplimiento normativo en México: importancia y regulaciones*. <https://facephi.com/blog/cumplimiento-normativo-mexico/>
- Fontalvo, T. J. (2013). Evaluación del impacto de la certificación BASC en la productividad de las empresas de la ciudad de Barranquilla. *Revista U. D. C. A. Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1), 273-280. <https://doi.org/10.31910/rudca.v16.n1.2013.884>
- Freire Torres, Z. (2023). *Sistema de gestión en control y seguridad basado en la norma BASC versión 6 para una empresa de fabricación y comercialización internacional de transformadores de energía eléctrica* [Tesis de maestría, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio de la Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/40170>
- Fusch, P. I., & Ness, L. R. (2015). Are we there yet? Data saturation in qualitative research. *The Qualitative Report*, 20(9), 1408-1416. <https://doi.org/10.46743/2160-3715/2015.2281>
- García, G. M., & Quispe, J. V. (2021). *Impacto de la certificación BASC en la cantidad de servicios de exportación de la empresa C&B Logistics SAC en los años 2015-2020* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/28337>
- García-Salirrosas, E., & Millones-Liza, D. (2023). Aceptación de la tecnología y su relación con el desempeño laboral de los teletrabajadores. *Revista Venezolana de Gerencia*, 28(9), 199-214. <https://doi.org/10.52080/rvgluz.28.e9.13>
- Hernández Morales, Y. P. (2022). *Importancia de la certificación BASC para evitar la contaminación de la carga en las actividades de los operadores logísticos en el sector de transporte* [Tesis de maestría, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio de la Universidad Técnica de Ambato. <https://repository.umng.edu.co/items/99c281a2-bb80-40e2-a477-0003e9709afe>
- Hirose, M., & Creswell, J. W. (2023). Applying core quality criteria of mixed methods research to an empirical study. *Journal of Mixed Methods Research*, 17(1), 12-28. <https://doi.org/10.1177/15586898221086346>
- Hurtado-Pérez, M. F., & Quezada-Gonzaga, S. S. (2023). La certificación BASC como estrategia de competitividad para la empresa exportadora de banano BANANAGOLDCORP S. A. en la provincia de El Oro en el año 2022 [Trabajo de licenciatura, Universidad Técnica de Machala]. Repositorio de la Universidad de Machala. <https://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/22367>

- Irrazabal, P. (2023). ¿La certificación BASC aumenta la seguridad al mover carga? *Nowports*. <https://blog.nowports.com/es/certificacion-basc-aumenta-seguridad-mover-carga>
- Jauregui Cortavarria, K. R. (2021). *Propuesta de implementación de la norma BASC en la empresa correos del Perú S. A.* [Tesis de grado, Universidad San Ignacio de Loyola]. Repositorio de la Universidad San Ignacio de Loyola. <https://hdl.handle.net/20.500.14005/11516>
- Jiménez Kuncé, S. E. (2023). *Documentación del sistema de gestión en control y seguridad BASC en la empresa BBC Freight* [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio de la Universidad de San Carlos de Guatemala. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/19329>
- Kareem, M. A., & Hussein, I. J. (2019). The impact of human resource development on employee performance and organizational effectiveness. *Management Dynamics in the Knowledge Economy*, 7(3), 307-322. <https://doi.org/10.25019/mdke/7.3.02>
- Mabasa, T. D., & Flotman, A.-P. (2022). Employees' experiences of change management in the implementation of a performance management system. *SA Journal of Industrial Psychology*, 48, a1980. <https://doi.org/10.4102/sajip.v48i0.1980>
- Mora Acero, O. L. (2023). *Propuesta de implementación de un sistema de gestión en control y seguridad para a empresa C.I. global exportaciones S.A.S. basado en la norma basc v5:2017* [Trabajo de grado, Universidad Francisco de Paula Santander]. Repositorio de la Universidad Francisco de Paula Santander. <https://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/8005>
- Morales, M., & Velázquez, L. (2024). Diseño y validación de un instrumento para medir la percepción del impacto de la transformación digital en las PYMES. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 5(3), 188-199. <https://doi.org/10.56712/latam.v5i3.2030>
- Sánchez-Rodríguez, M. A. (2022). ¿Cómo puedo calcular el tamaño de la muestra? Importancia en la calidad y la validez en la investigación en ciencias de la salud. *Casos y Revisiones de Salud*, 4(2), 113-126. <https://doi.org/10.22201/fesz.26831422e.2022.4.2.8>
- Serra Mazzei, D. E. (2022). Normas ISO 30401:2018 "Gestión del Conocimiento" e ISO 9001:2015 "Gestión de Calidad" pilares para el éxito sostenido en las organizaciones. *Tekhné*, 25(2), 112-131. <https://revistasenlinea.saber.ucab.edu.ve/index.php/tekhne/article/view/5441>

- World BASC Organization. (2022). *Guía de implementación. Norma y estándares internacionales BASC* (6.^a ed.). <https://www.wbasco.org/es/documento/guia-de-implementacion-norma-y-estandares-basc-v6-2022>
- Ubillus Sanandres, R. R. (2022). *Importancia de la certificación BASC, en el aseguramiento de la cadena de suministros de las agroexportadoras de Lambayeque periodo 2018-2019* [Tesis de licenciatura, Universidad Señor de Sipán]. Repositorio de la Universidad Señor de Sipán. <https://hdl.handle.net/20.500.12802/9796>

CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Science and Technology

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA ASISTENCIA DE LECTURA DE TEXTOS IMPRESOS MEDIANTE VISIÓN COMPUTACIONAL PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL

CRISTHIAN KEVIN RAFAEL ROSALES*

<https://orcid.org/0009-0004-8642-0627>

Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú

JOSE ERASMO SALAZAR MINCHAN

<https://orcid.org/0009-0004-4791-1466>

Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú

JORGE ENRIQUE ORTIZ PORRAS

<https://orcid.org/0000-0002-9605-3670>

Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú

Recibido: 6 de febrero del 2025 / Aceptado: 10 de marzo del 2025

Publicado: 10 de junio del 2025

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2025.n48.7607>

RESUMEN. Este artículo presenta el diseño e implementación de un dispositivo electrónico para ayudar a personas con discapacidades visuales en la lectura de textos impresos. Este sistema mecatrónico utiliza una cámara Raspberry Pi V3 montada en unas gafas para capturar imágenes de textos impresos. Las imágenes se procesan mediante el reconocimiento óptico de caracteres, y el texto extraído se convierte a audio mediante un sintetizador de texto a voz, lo que permite al usuario acceder al contenido visual de manera auditiva. El dispositivo se basa en un microcontrolador Raspberry Pi 3 modelo B+ para la gestión de datos y el control de los componentes elec-

Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

* Autor corresponsal

Correos electrónicos en orden de aparición: crafaelr@uni.pe; jose.salazar.m@uni.pe; jortizp@uni.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).

trónicos. Está diseñado para ser portátil, ergonómico y de bajo consumo energético, con una batería de larga duración.

PALABRAS CLAVE: Raspberry Pi / reconocimiento óptico de caracteres / texto a voz / discapacidad visual

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AN ELECTRONIC DEVICE FOR READING ASSISTANCE OF PRINTED TEXTS USING COMPUTER VISION FOR VISUALLY IMPAIRED PEOPLE

ABSTRACT. This article presents the design and implementation of an electronic device to assist visually impaired people in reading printed texts. This mechatronic system uses a Raspberry Pi V3 camera mounted on glasses to capture images of printed texts. The images are processed through Optical Character Recognition, and the extracted text is converted to audio using a Text-to-Speech synthesizer, allowing the user to access the visual content audibly. The device is based on a Raspberry Pi 3 Model B+ microcontroller for data management and control of the electronic components. It is designed to be portable, ergonomic, and energy-efficient, with a long-lasting battery.

KEYWORDS: Raspberry Pi / optical character recognition / text to speech / visually impaired

INTRODUCCIÓN

El acceso a la información es esencial para el desarrollo integral de las personas con discapacidad visual, ya que les permite ejercer su autonomía, participar activamente en la sociedad y acceder a oportunidades de aprendizaje y empleo (Yataco Marín, 2022). Sin embargo, las personas con discapacidad visual enfrentan diversas dificultades para interpretar el texto impreso debido a problemas de alineación, enfoque, precisión, movilidad y eficiencia (Manage et al., 2020). Según Wong Cam et al. (2019), esta condición se define como la dificultad de una persona para realizar actividades cotidianas debido a la pérdida de visión causada por una afección ocular con una duración superior a seis meses.

La Organización Mundial de la Salud (2023) estima que más de 2 200 millones de personas en el mundo tienen alguna forma de discapacidad visual, cuyas principales causas son los errores de refracción no corregidos y las cataratas no tratadas. En el Perú, 1 550 196 personas presentan discapacidad visual, según el perfil sociodemográfico de la población con discapacidad (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2019). Además, hasta enero del 2025, el Consejo Nacional para la Integración de la Persona con Discapacidad (2025), mediante el Registro Nacional de la Persona con Discapacidad (RNPCD), ha inscrito a 542 905 personas con discapacidad, de las cuales 466 835 presentan discapacidad visual.

La tecnología ha facilitado la vida cotidiana, pero las personas con discapacidades físicas aún enfrentan numerosas dificultades (Karmel et al., 2019). En este contexto, la revisión de Kuriakose et al. (2022) destacó que muchos dispositivos asistivos presentan limitaciones en cuanto a usabilidad, portabilidad y costo, lo que puede contribuir a la exclusión social y restringir la autonomía de las personas con discapacidad visual.

Aunque estas barreras persisten, diversas investigaciones han desarrollado soluciones enfocadas en mejorar el acceso a la información para personas con discapacidad visual, principalmente a través del reconocimiento óptico de caracteres (*optical character recognition*, OCR) y la conversión de texto a voz (*text to speech*, TTS). Entre estas soluciones destacan dispositivos como las gafas inteligentes (López Jiménez, 2019), consideradas como un avance en ayudas electrónicas, que integran un procesamiento de imágenes y realidad aumentada para asistir en la lectura y control de diversos factores visuales, lo que busca la autonomía del usuario. A continuación, se presentan algunos antecedentes relevantes en este campo.

Basantes Varela y Chalaco Chamba (2019) presentaron un dispositivo capaz de capturar imágenes de documentos impresos, procesarlas mediante visión artificial y convertir el texto en audio. Las pruebas realizadas demostraron que la distancia mínima de reconocimiento fue de 20 cm y que, para todos los usuarios, la claridad

del audio fue suficiente para comprender el texto. Sin embargo, el prototipo presenta algunas limitaciones, como la restricción en la distancia de detección, la necesidad de marcar los bordes de las hojas con contornos de color verde para su identificación y dificultades con ciertos tipos de letra y tamaños de texto impreso.

Luna Soria (2022) desarrolló un dispositivo estático que permite la inserción de documentos de texto para su digitalización y conversión a audio, cuyo sistema emplea OpenCV para el reconocimiento óptico de caracteres y la API de Google Cloud TTS para la síntesis de voz. En las pruebas finales, el dispositivo alcanzó una eficiencia superior al 95 % en la conversión de texto a audio. Sin embargo, su tamaño considerable limitó su portabilidad, lo que dificultó su uso en entornos cotidianos. Además, al depender de la API de Google Cloud TTS, requiere una conexión a internet para su funcionamiento, lo que podría representar una desventaja en contextos de conectividad limitada.

Arias Acosta (2022) propuso un dispositivo portátil para una lectura audible de textos mediante la implementación de la API de Google Cloud Vision para el OCR y la API de Google Text-to-Speech (gTTS) para la conversión de texto a voz. Las pruebas demostraron una eficiencia del 95,94 % en la detección de textos. Sin embargo, el tamaño de la carcasa que albergaba los componentes electrónicos seguía siendo considerable, lo que limitó su portabilidad para el uso diario o en entornos domésticos. Además, su funcionalidad dependía de una conexión a internet, lo que representó una desventaja en áreas con acceso limitado a la red.

AlSaid et al. (2019) desarrollaron unas gafas inteligentes para asistir a estudiantes con discapacidad visual en la lectura de textos impresos. El sistema utilizó Tesseract OCR y el detector EAST para extraer texto de imágenes capturadas por una cámara integrada, mientras que la conversión de texto a voz se realizó mediante gTTS. Además, incorporaron un sensor RFID para ayudar a los usuarios a ubicarse dentro de un entorno universitario.

Navarro Pérez (2021) desarrolló un dispositivo portátil y de bajo costo diseñado para asistir a personas con discapacidad visual. Este dispositivo integra una Raspberry Pi Zero y una cámara para capturar imágenes de texto impreso. Las imágenes capturadas se procesan mediante OpenCV y se reconocen con Tesseract OCR, para luego convertir el texto en voz a través de un sistema TTS (Pico TTS). Los resultados demostraron que esta herramienta compacta y accesible es capaz de reproducir en audio en diversos tipos de texto, con un nivel de precisión del 88 % al 90 %. Sin embargo, esta precisión, aunque funcional, podría considerarse relativamente baja para aplicaciones de asistencia visual, donde la exactitud es fundamental.

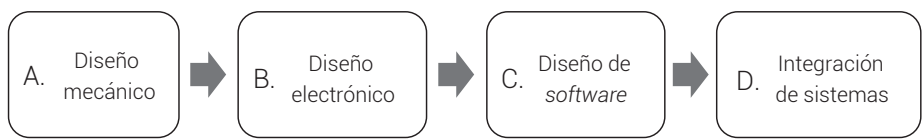
Considerando las limitaciones de estudios previos, este artículo propone un dispositivo electrónico acoplado a gafas que facilite la lectura de textos impresos

mediante visión computacional. El sistema integra una cámara para capturar imágenes, un módulo OCR para convertirlas en texto y un sintetizador TTS para su conversión en audio, lo que permite al usuario acceder al contenido de forma auditiva. A diferencia de otros dispositivos que requieren conexión a internet, este funciona de manera autónoma y garantiza una mayor accesibilidad en distintos entornos. Además, se diseñó una carcasa compacta para asegurar la portabilidad y discreción, lo que facilita su integración en la vida diaria.

METODOLOGÍA

Para abordar de manera sistemática y eficiente el desarrollo del dispositivo con OCR y TTS, se ha dividido el proyecto en las siguientes etapas, como se muestra en la Figura 1:

Figura 1
Diagrama de bloques



Diseño mecánico

En esta etapa, se llevó a cabo el modelado 3D de los componentes mecánicos del dispositivo mediante SolidWorks, lo que permitió visualizar, diseñar y verificar cada pieza antes de su fabricación. Para la elaboración del prototipo, se seleccionó PLA por su resistencia mecánica, accesibilidad y estabilidad estructural en aplicaciones funcionales. Además, su alta resistencia a la fractura lo hace un material idóneo para la fabricación aditiva, pues garantiza durabilidad y fiabilidad en el diseño del dispositivo (Cuesta et al., 2019).

A continuación, en la Tabla 1 se presentan las principales propiedades mecánicas del material PLA, las cuales fueron utilizadas para la simulación en Ansys.

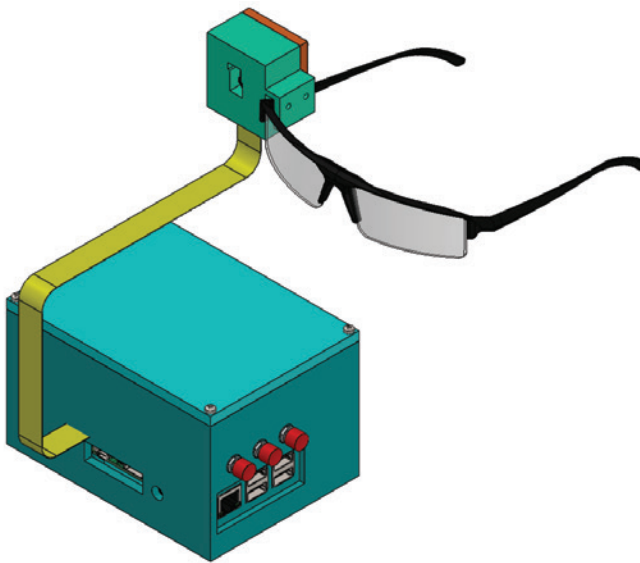
Tabla 1
Propiedades mecánicas del material PLA

Propiedades generales	Valores
Módulo de Young	3,5 GPa
Coefficiente de Poisson	0,35
Densidad	1250 kg/m³

En la Figura 2, se presenta el prototipo del dispositivo. En la parte inferior, se encuentra una carcasa que alberga todos los componentes, incluyendo la Raspberry Pi, la batería y las conexiones necesarias. En la parte superior, se ubica la carcasa de la cámara, que está diseñada para ajustarse a las gafas de manera segura y funcional. Este diseño asegura que todos los componentes estén protegidos y que el dispositivo sea fácil de usar para personas con discapacidades visuales.

Figura 2

Prototipo del dispositivo



Diseño electrónico

En esta etapa del proyecto, se llevó a cabo una evaluación exhaustiva de las alternativas disponibles para los diferentes componentes electrónicos del dispositivo. El objetivo fue seleccionar los mejores componentes en función de criterios como el rendimiento, la compatibilidad, la eficiencia energética y el costo. Los principales aspectos evaluados y seleccionados fueron los siguientes:

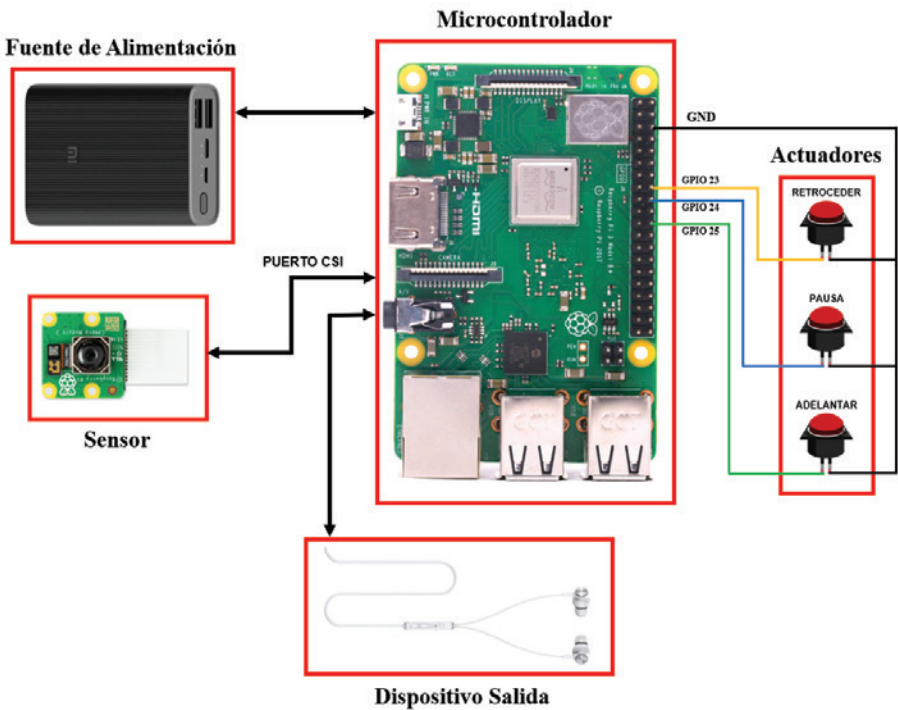
- *Selección del microcontrolador.* Tras evaluar tres alternativas, se eligió la Raspberry Pi 3 Modelo B+ debido a su equilibrio entre rendimiento y costo. Según Raspberry Pi Foundation (2023), esta placa está equipada con un procesador de cuatro núcleos a 1,4 GHz y 1 GB de memoria RAM, lo cual ofrece la potencia y la memoria necesarias para ejecutar tareas complejas, como el reconocimiento de imágenes y la conversión de texto a voz.

- *Selección de la cámara.* Tras evaluar dos opciones, se optó por la cámara Raspberry Pi V3, un módulo especializado que ofrece una resolución de 12 megapíxeles (4608×2592 píxeles) para capturas de alta calidad. Según Raspberry Pi Foundation (2024), esta cámara es compatible con la Raspberry Pi 3, incluye enfoque automático y un sensor optimizado para condiciones de baja luz, lo que asegura imágenes nítidas y detalladas. Estas características son esenciales para la fase de reconocimiento de texto, pues permiten una interpretación precisa de los caracteres y mejoran la precisión del sistema.
- *Selección de la salida de audio.* Se seleccionaron auriculares alámbricos para la salida de audio debido a su fácil integración con la Raspberry Pi y su buena calidad de sonido. Esta elección simplifica el diseño al evitar módulos inalámbricos y configuraciones complejas. Además, son adecuados para entornos silenciosos como bibliotecas, ya que permiten una experiencia auditiva discreta sin afectar al entorno.
- *Selección del sistema de alimentación.* Para la fuente de energía, se eligió el Xiaomi Mi Power Bank 3 Ultra Compact con una capacidad de 10 000 mAh, que proporciona la autonomía necesaria para un uso prolongado sin recargas frecuentes. Su diseño compacto facilita la portabilidad, ideal para un dispositivo que requiere movilidad. En la selección se consideraron tanto su alta capacidad en relación con su tamaño reducido, adecuado para un dispositivo con espacio limitado, como sus sistemas de protección de batería LiPo, esenciales para un funcionamiento seguro y confiable debido a la sensibilidad de esta tecnología (Xiaomi, s. f.).
- *Diagrama de conexión.* La Figura 3 muestra el diagrama de conexión del sistema, en el que se integran los principales componentes: la Raspberry Pi 3 Modelo B+, la cámara Raspberry Pi Cam v3, los auriculares y la batería portátil. La Raspberry Pi actúa como el centro de control, pues gestiona los datos.

La cámara se conecta al puerto CSI para capturar imágenes que serán procesadas mediante OCR, mientras que los auriculares se conectan al puerto de audio para la salida de voz generada por el sistema TTS. Por su parte, la batería externa suministra energía a todo el sistema, lo que garantiza su portabilidad.

Este diagrama es fundamental para comprender y garantizar la correcta integración de los componentes, porque facilita su implementación y verificación.

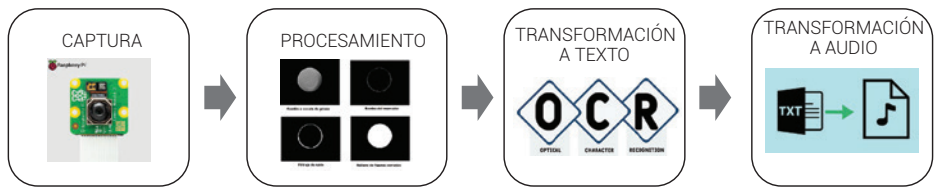
Figura 3
Diagrama de conexión



Diseño del software

Para el desarrollo del sistema de asistencia de lectura mediante reconocimiento óptico de caracteres y conversión de texto a voz, se ha diseñado el diagrama de bloques mostrado en la Figura 4. Este diagrama representa la estructura general del *software* y define los componentes principales del sistema, así como su flujo de información.

Figura 4
Diagrama de bloques del sistema



Los bloques principales incluyen los siguientes módulos:

- *Captura de imagen.* En este módulo, la cámara del dispositivo captura la imagen del texto que el usuario desea leer y la almacena temporalmente en el sistema para su posterior procesamiento.
- *Procesamiento de imagen.* En esta etapa, el *software* utiliza técnicas de preprocesamiento mediante OpenCV (Howse et al., 2020) para optimizar la calidad de la imagen, de modo que ajusta el contraste y reduce el ruido. Estas mejoras permiten destacar los caracteres y preparar la imagen para un reconocimiento de texto más preciso en el sistema OCR.
- *Reconocimiento óptico de caracteres.* En esta fase, el texto se extrae de la imagen mediante un modelo de OCR basado en la biblioteca Tesseract OCR (Smith, 2007), seleccionada por su alta precisión y eficiente rendimiento. Esta herramienta permite transformar los caracteres de la imagen en texto digital y asegurar una base confiable para el siguiente proceso de conversión a voz.
- *Conversión de texto a voz.* Esta tecnología permite la generación artificial de voz a partir de texto escrito mediante sistemas computarizados (Taylor, 2009). En este módulo, el texto digitalizado obtenido del sistema OCR es procesado por el motor eSpeak, seleccionado por su eficiencia computacional, compatibilidad con dispositivos de asistencia y soporte multilingüe (eSpeak, s. f.). El resultado es una salida de audio clara y fluida que facilita el acceso auditivo al contenido textual procesado.

Integración del sistema

- *Integración del sistema mecánico.* Esta fase se centra en la construcción física del dispositivo, con el chasis y la carcasa previamente diseñados. En esta etapa, se ensamblan los componentes mecánicos de manera precisa para garantizar un ajuste adecuado de todas las piezas. El objetivo es lograr un sistema funcional y ergonómico que, al ser acoplado a las gafas, ofrezca comodidad y facilidad de uso, sin comprometer su desempeño.
- *Integración del sistema electrónico.* En esta fase, se procede a la conexión de todos los componentes electrónicos según el esquema de conexión diseñado en etapas anteriores. Esto incluye la interconexión de la Raspberry Pi, la cámara, los auriculares y la batería portátil, lo que asegura que cada uno de los elementos esté correctamente alimentado y funcionando en conjunto de manera eficiente.
- *Integración del software.* En esta etapa final, se instalará y configurará el *software* de visión por computadora en la Raspberry Pi, que incluye el

reconocimiento óptico de caracteres y la síntesis de texto a voz. Se realizarán pruebas exhaustivas para asegurar la correcta interacción del *software* con el *hardware*, a través del procesamiento de imágenes y la generación de la salida de audio.

Figura 5

Integración del dispositivo



RESULTADOS

Para evaluar el desempeño del *software* desarrollado, se realizaron pruebas con textos impresos en hojas de papel bond tamaño A4, bajo condiciones óptimas de iluminación. A diferencia del estudio realizado por Chinchero Iza (2019), en esta evaluación no se consideraron variaciones en las condiciones lumínicas.

El análisis se centró en cuatro factores clave que influyen en la eficiencia del reconocimiento óptico de caracteres:

1. *Tipos de textos*. Se evaluaron tres tipos diferentes de textos.
2. *Distancia de captura*. Se realizaron pruebas a 18 cm, 22 cm y 26 cm de distancia.
3. *Tamaño de la letra*. Se usaron tamaños de 10, 12 y 14 puntos.
4. *Tipos de fuente*. Se probaron las tipografías Arial, Times New Roman y Aptos.

En total, se llevaron a cabo 81 pruebas de acuerdo con todas las combinaciones de estos factores.

Textos de prueba

Para la evaluación, se utilizaron tres textos con distintas fuentes tipográficas. La Figura 6 muestra el texto de prueba 1 con la fuente Arial; la Figura 7, el texto de prueba 2 con Times New Roman; y la Figura 8, el texto de prueba 3 con Aptos.

Figura 6

Texto de prueba 1 con fuente Arial

La Unión Nacional de Ciegos del Perú (UNCP) es una organización sin fines de lucro que representa y defiende los derechos e intereses de las personas con discapacidad visual en el Perú. Su misión principal es promover la inclusión, igualdad de oportunidades y el desarrollo integral de las personas ciegas o con baja visión, fomentando su participación en todos los ámbitos de la sociedad.

La UNCP trabaja en colaboración con instituciones públicas, privadas y otras organizaciones de personas con discapacidad para lograr sus objetivos y mejorar la calidad de vida de sus asociados. Además, organiza talleres, eventos culturales y actividades recreativas para fomentar la integración social.

Figura 7

Texto de prueba 2 con fuente Times New Roman

La Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) es una de las instituciones académicas más prestigiosas del Perú, reconocida por su excelencia en la formación de profesionales altamente calificados en las áreas de ingeniería, arquitectura y ciencias aplicadas. Fue fundada el 18 de marzo de 1876 por el ingeniero polaco Eduardo de Habich, inicialmente como la Escuela de Ingenieros de Construcción Civil y de Minas del Perú.

La Universidad Nacional de Ingeniería es un referente en la formación de profesionales y en la generación de conocimiento en el Perú, contribuyendo significativamente al progreso industrial, tecnológico y científico del país.

Figura 8

Texto de prueba 3 con fuente Aptos

La Facultad de Ingeniería Mecánica (FIM) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) es una de las unidades académicas más destacadas de la institución, especializada en la formación de ingenieros mecánicos y afines que contribuyen al desarrollo industrial, tecnológico y energético del Perú. Fundada como una de las primeras facultades de la UNI, la FIM tiene una larga tradición de excelencia académica y compromiso con la innovación tecnológica. Tiene como misión formar profesionales competentes con una sólida base científica y tecnológica, comprometidos con el desarrollo sostenible, la innovación y la solución de problemas industriales y energéticos del país.

Textos detectados

El reconocimiento OCR se evaluó en el entorno Thonny. Las figuras 9, 10 y 11 presentan el resultado del reconocimiento del texto de prueba 1 (fuente Arial, tamaño 10) capturado a 18 cm, 22 cm y 26 cm, respectivamente.

Figura 9

Reconocimiento OCR del texto de prueba 1 con fuente Arial, tamaño 10, capturado a 18 cm

Texto detectado: La Unión Nacional de Ciegos del Perú (UNCP) es una organización sin fines de lucro que representa y defiende los derechos e intereses de las personas con discapacidad visual en el Perú. Su misión principal es promover la inclusión, Igualdad de oportunidades y el desarrollo integral de las personas ciegas o con baja visión, fomentando su participación en todos los ámbitos de la sociedad.

La UNCP trabaja en colaboración con Instituciones públicas, privadas y otras organizaciones de personas con discapacidad para lograr sus objetivos y mejorar la calidad de vida de sus asociados. Además, organiza talleres, eventos culturales y actividades recreativas para fomentar la integración social.

Total de caracteres en el texto real: 694
Sustituciones (S): 3 -> [(232, 'i', 'I'), (427, 'i', 'I'), (462, 'o', 'a')]
Eliminaciones (D): 0 -> []
Inserciones (I): 0 -> []
Errores totales: 3
CER: 0.43%

Figura 10
Reconocimiento OCR del texto de prueba 1 con fuente Arial, tamaño 10, capturado a 22 cm

Texto detectado: La Unión Nacional de Ciegos del Peri (UNCP) es una organización sin fines. de lucro que representa y defiende los derechos e intereses de las personas con discapacidad visual en el Peri. Su misión principal es promover la inclusión, igualdad de oportunidades y el desarrollo integral de las personas ciegas o con baja visión, fomentando su participación en todos los ámbitos de la sociedad

La UNCP trabaja en colaboración con instituciones públicas, privadas y otras organizaciones de personas con discapacidad para lograr sus objetivos y mejorar la calidad de vida de sus "asociados. Además, organiza talleres, eventos culturales y actividades recreativas para fomentar la integración social

Total de caracteres en el texto real: 694
Sustituciones (S): 4 -> [(35, 'ú', 'i'), (77, 'l', 'j'), (183, 'ú', 'i'), (672, 'a', 'e')]
Eliminaciones (D): 5 -> [(376, ' '), (388, '.'), (431, 'i'), (605, 'l'), (692, '.')]
Inserciones (I): 3 -> [(73, '.'), (572, '"'), (669, '\n')]
Errores totales: 12
CER: 1.73%

Figura 11
Reconocimiento OCR del texto de prueba 1 con fuente Arial, tamaño 10, capturado a 26 cm

Texto detectado: La Unión Nacional de Ciegos del Peri (UNCP) es Una organización si fines de lucro que representa y defiende los derechos e intereses de las personas con discapacidad vial en el Peri. Su misión principal es promover la inclusión, igualdad de oportunidades y el desarra lo integral de las personas ciegas o con baja visión, fomentando su participación en tados los ámbitos de la sociedad

La UNCP vabaja en colaboración con nsttuciones públicas. privadas y oras organizaciones de personas con discapacidad para lograr sus. objetivos y mejorar la calidad de Vida de sus "asociados. Además, organiza talleres, eventos culturales y actividades recreativas para lomentar la integración social.

Total de caracteres en el texto real: 694
Sustituciones (S): 14 -> [(35, 'ú', 'i'), (47, 'u', 'U'), (183, 'ú', 'i'), (184, '.', '.'), (269, 'o', 'a'), (274, 'i', 'I'), (303, 'a', 'e'), (357, 'o', 'a'), (388, '.', '\n'), (390, '\n', 'i'), (399, 't', 'v'), (440, '.', '.'), (562, 'v', 'V'), (662, 'f', 'l')]
Eliminaciones (D): 10 -> [(66, 'n'), (169, 's'), (170, 'u'), (271, 'l'), (400, 'r'), (427, 'i'), (431, 'i'), (463, 't'), (605, 'l'), (636, 'i')]
Inserciones (I): 4 -> [(478, '\n'), (520, '.'), (568, '"'), (663, '\n')]
Errores totales: 28
CER: 4.03%

Cálculo de la tasa de error por carácter

El cálculo de la tasa de error por carácter (CER) mide la proporción de caracteres erróneos con respecto al número total de caracteres del texto original. Se calcula mediante la siguiente ecuación (Vidal et al., 2023):

$$CER = \frac{S + D + I}{N} * 100$$

- Donde:
- S: número de sustituciones (caracteres incorrectamente reconocidos)
 - D: número de eliminaciones (caracteres omitidos)
 - I: número de inserciones (caracteres agregados)
 - N: número total de caracteres en el texto original

Para calcular el CER, se utilizó un proceso automatizado basado en la biblioteca Levenshtein en Python. El *software* compara el texto original con el texto detectado a través del método editops, el cual identifica las operaciones necesarias para transformar un texto en otro (Adjetey & Adu-Manu, 2021).

Las métricas de error se obtienen de la siguiente manera:

- *Sustituciones*. Se cuentan los caracteres en los que el OCR detectó un símbolo diferente al presente en el texto original.
- *Eliminaciones*. Se registran los caracteres que estaban en el texto original pero que el OCR no logró reconocer.
- *Inserciones*. Se contabilizan los caracteres que el OCR agregó de manera errónea y que no estaban en el texto original.

Este proceso es completamente automatizado, de modo que se elimina la necesidad de revisar manualmente cada palabra, lo que asegura precisión y eficiencia en la evaluación del desempeño del OCR.

Tabla 2
Tasa de error por carácter

Distancia	Tipo de letra	Tamaño	Texto 1		Texto 2		Texto 3	
			Caracteres	% CER	Caracteres	% CER	Caracteres	% CER
18	Arial	10	694	0,43	647	1,70	671	0,30
18	Arial	12	694	0,14	647	0,77	671	0,30
18	Arial	14	694	0,14	647	0,31	671	0,15
18	Times	10	694	0,58	647	2,01	671	1,19
18	Times	12	694	0,58	647	1,24	671	0,60
18	Times	14	694	0,43	647	0,77	671	0,30
18	Aptos	10	694	3,60	647	1,39	671	1,34
18	Aptos	12	694	0,58	647	0,31	671	0,30
18	Aptos	14	694	0,14	647	0,77	671	0,30
22	Arial	10	694	1,73	647	0,93	671	0,89
22	Arial	12	694	0,43	647	1,08	671	0,60
22	Arial	14	694	0,58	647	0,46	671	0,45
22	Times	10	694	3,17	647	4,02	671	2,53
22	Times	12	694	1,87	647	2,17	671	0,60
22	Times	14	694	0,54	647	0,93	671	0,45

(continúa)

(continuación)

Distancia	Tipo de letra	Tamaño	Texto 1		Texto 2		Texto 3	
			Caracteres	% CER	Caracteres	% CER	Caracteres	% CER
22	Aptos	10	694	3,03	647	9,58	671	2,53
22	Aptos	12	694	2,16	647	0,46	671	1,04
22	Aptos	14	694	0,58	647	1,39	671	0,75
26	Arial	10	694	4,03	647	6,66	671	4,02
26	Arial	12	694	1,01	647	1,70	671	1,04
26	Arial	14	694	2,45	647	0,93	671	0,75
26	Times	10	694	7,20	647	13,47	671	7,15
26	Times	12	694	3,31	647	11,76	671	2,09
26	Times	14	694	3,75	647	2,01	671	0,75
26	Aptos	10	694	7,35	647	15,15	671	6,56
26	Aptos	12	694	2,74	647	1,24	671	2,53
26	Aptos	14	694	1,01	647	1,70	671	1,19
			Promedio	1,98	Promedio	3,14	Promedio	1,51
			Promedio total					2,21

A partir de los datos de la Tabla 2, se calculó un CER promedio de 2,21 %. La precisión del sistema se obtiene mediante la fórmula: $\text{precisión} = 1 - \text{CER}$. Al sustituir el valor obtenido, se logra una precisión del 97,79 %, lo que indica un alto desempeño en el reconocimiento de caracteres.

DISCUSIÓN

En este proyecto se desarrolló un dispositivo de OCR y TTS capaz de convertir documentos impresos en audio, lo que facilitó el acceso a la información para personas con discapacidad visual. La evaluación del sistema se llevó a cabo con textos impresos en hojas de papel bond tamaño A4, bajo condiciones de iluminación óptimas.

Para analizar el desempeño del OCR, se consideraron cuatro factores clave: tipo de texto, distancia de captura (18 cm, 22 cm y 26 cm), tamaño de la letra (10, 12 y 14 puntos) y tipo de fuente (Arial, Times New Roman y Aptos). En total, se realizaron 81 pruebas, lo que permitió obtener una evaluación detallada del rendimiento del sistema en diferentes condiciones.

Comparación de tasa de error por carácter

El rendimiento del OCR varió significativamente según la tipografía utilizada, lo que afecta la precisión en el reconocimiento de caracteres. En las pruebas realizadas con Tesseract OCR, se identificaron las siguientes tasas de error:

- *Arial*. Registró la menor tasa de error con un 1,26 % en CER. Su diseño sin serifa y su estructura clara permitieron una segmentación más precisa de los caracteres, lo que redujo los errores en el reconocimiento. Según Malkadi et al. (2020), las fuentes sin serifa, como Arial, obtuvieron una mejor precisión en OCR en comparación con fuentes con serifa debido a la ausencia de detalles adicionales en los caracteres que podrían dificultar el reconocimiento.
- *Times New Roman*. Presentó la mayor tasa de error con un 2,8 % en CER. Esta fuente con serifa, aunque ampliamente utilizada en documentos formales, tuvo un 20 % menos de precisión en comparación con Arial en las pruebas de Tesseract, lo que indica que las serifas y detalles adicionales pueden interferir con la segmentación de caracteres (Malkadi et al., 2020).
- *Aptos*. Registró un 2,58 % en CER, lo que indica un desempeño inferior al de Arial. Sin embargo, el estudio de Malkadi et al. (2020) no profundizó en las razones específicas detrás del rendimiento de esta fuente y solo se limitó a señalar que la elección de la tipografía influye significativamente en la precisión del OCR.

En la Figura 5, se presenta el diseño del prototipo, cuya carcasa protege los componentes electrónicos. Este diseño no solo garantiza la integridad de los componentes, sino que también mejora la portabilidad del dispositivo.

En comparación con estudios previos, Luna Soria (2022) desarrolló un dispositivo con una carcasa estática y de grandes dimensiones, lo que restringía su portabilidad y dificultaba su uso para personas con discapacidad visual en su vida diaria. De manera similar, Arias Acosta (2022) diseñó un prototipo con una movilidad limitada, ya que sus dimensiones seguían siendo poco prácticas para un uso cotidiano.

En cambio, nuestro dispositivo fue desarrollado para ser compacto y de bajo costo, con dimensiones de 14 cm de largo, 10,2 cm de ancho y 8,5 cm de alto. Estas características lo hacen ligero y fácil de transportar, de modo que permiten su uso en diversos entornos sin comprometer la protección de los componentes electrónicos.

Durante las pruebas, el sistema TTS utilizó eSpeak, lo que resultó en una voz con un tono robótico. Este aspecto se puede optimizar en futuras versiones del dispositivo con la aplicación de técnicas avanzadas que mejoren la calidad de la conversión.

Limitaciones y futuras investigaciones

- *Calidad del TTS.* Actualmente, la voz generada por el motor de síntesis de texto a voz presenta un tono robótico, lo que afecta la experiencia del usuario. Para mejorar este aspecto, se recomienda explorar motores de TTS más avanzados, como Google Text-to-Speech, Amazon Polly o Microsoft Azure Speech, los cuales ofrecen voces más naturales y personalizables. Además, se podrían aplicar técnicas de procesamiento de señales para suavizar la entonación y mejorar la fluidez del habla generada.
- *Compatibilidad de la cámara.* Se presentaron problemas de compatibilidad entre la cámara Raspberry Pi V3 y el código ejecutado en Thonny, lo que llevó a optar por una webcam USB como alternativa. Debido a las limitaciones de rendimiento de la Raspberry Pi 3, probar otros entornos de desarrollo no fue viable, ya que la ejecución del código fue demasiado lenta. Para superar esta limitación en futuras versiones, se recomienda evaluar un *hardware* más potente, como la Raspberry Pi 5, que mejora la integración de la cámara sin comprometer el rendimiento del sistema.
- *Desarrollo de OCR con deep learning.* Como línea de investigación futura, se propone desarrollar un sistema OCR basado en *deep learning* según el enfoque de Namysl y Konya (2019). Esta solución elimina la necesidad de segmentación explícita de caracteres mediante el uso de redes neuronales profundas, las cuales aprovechan los datos sintéticos y técnicas de *data augmentation* para mejorar la robustez del reconocimiento en tipografías diversas y entornos complejos.
- *Reconocimiento de texto en entornos 3D complejos.* Futuras investigaciones podrían explorar la integración de estimación de profundidad y modelos de detección sin anclas para mejorar el OCR en entornos tridimensionales. Según Soans y Fukumizu (2024), la combinación de detección de objetos 3D y aprendizaje profundo optimiza la extracción de texto en condiciones de iluminación variable y ángulos complejos, lo que podría aplicarse a superficies no planas en estudios posteriores.

CONCLUSIONES

Se concluye que el modelado 3D es esencial para optimizar el diseño del prototipo y garantizar la compatibilidad de sus componentes antes de la fabricación mediante impresión 3D. Resulta fundamental que el diseño se ajuste con precisión a las dimensiones de la Raspberry Pi, lo que asegurará la sujeción adecuada de la batería Xiaomi Mi 3 Ultra Compact y el correcto ensamblaje de los botones en sus respectivos orificios. Estas mejoras estructurales permiten diseñar un dispositivo compacto, ligero y portátil, que optimiza su uso en diferentes entornos.

El algoritmo de OCR implementado mostró un desempeño eficiente en la conversión de texto a audio. No obstante, se identificó que su precisión depende en gran medida de condiciones óptimas de iluminación, lo que es un factor determinante para reconocer caracteres especiales con exactitud. Se detectó que ciertas letras, como la e y la o, pueden confundirse en algunos casos, lo que sugiere la necesidad de mejorar el algoritmo mediante técnicas avanzadas de procesamiento de imagen.

El prototipo desarrollado representa una herramienta de asistencia valiosa para personas con discapacidad visual, pues facilita su acceso a la información impresa de manera más autónoma. Las pruebas con usuarios invidentes confirmaron su utilidad, aunque señalaron la necesidad de optimizarlo para garantizar una experiencia completamente independiente. Mejoras futuras podrían incluir el uso de algoritmos de inteligencia artificial para fortalecer el reconocimiento de caracteres y la integración de un sistema de navegación guiada por voz para hacer el dispositivo aún más accesible y funcional en distintos escenarios.

En conclusión, este estudio contribuye al desarrollo de tecnologías accesibles al ofrecer un dispositivo compacto, funcional y de bajo costo, que podría beneficiar significativamente la independencia de personas con discapacidad visual.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Cristhian Rafael Rosales: conceptualización, *data curation*, análisis formal, adquisición de fondos, investigación, *software*, validación, visualización, escritura-borrador original, redacción (revisión y edición). **José Salazar Minchan:** conceptualización, *data curation*, adquisición de fondos, metodología, *software*, escritura-borrador original. **Jorge Ortiz Porras:** administración de proyecto, recursos, supervisión, validación, redacción (revisión y edición).

REFERENCIAS

- Adjetey, C., & Adu-Manu, K. S. (2021). Content-based image retrieval using Tesseract OCR engine and levenshtein algorithm. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12(7), 666-675. <https://dx.doi.org/10.14569/IJACSA.2021.0120776>
- AlSaid, H., AlKhatib, L., AlOraih, A., AlHaidar, S., & Bashar, A. (2019). *Deep learning assisted smart glasses as educational aid for visually challenged students*

- [Presentación de escrito]. 2019 2nd International Conference on new Trends in Computing Sciences (ICTCS), Amman, Jordania. <http://dx.doi.org/10.1109/ICTCS.2019.8923044>
- Arias Acosta, M. D. (2022). *Diseño e implementación de gafas inteligentes como herramienta de asistencia para lectura y reconocimiento del entorno para personas con discapacidad visual utilizando inteligencia artificial* [Tesis de licenciatura, Universidad de las Fuerzas Armadas]. Repositorio institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas de Ecuador. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/35773>
- Basantes Varela, D. A., & Chalaco Chamba, E. A. (2019). *Desarrollo de un prototipo de gafas para lectura de texto con visión artificial que asista a personas con discapacidad visual* [Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. <http://dspace.upse.edu.ec/handle/123456789/17841>
- Chinchero Iza, J. L. (2019). *Desarrollo de un dispositivo que mediante visión artificial permita adquirir imágenes con palabras para la conversión a audio, orientado a la ayuda de personas invidentes* [Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica Israel]. Repositorio Digital de la Universidad de Israel. <http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/2117>
- Consejo Nacional para la Integración de la Persona con Discapacidad. (2025). *Registro Nacional de la Persona con Discapacidad*. Observatorio Nacional de la Discapacidad. <https://observatorio.conadisperu.gob.pe/>
- Cuesta, I. I., Martínez-Pañeda, E., Díaz, A., & Alegre, J. M. (2019). The essential work of fracture parameters for 3D printed polymer sheets. *Materials & Design*, 181, 107968. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.107968>
- eSpeak. (s. f.). *eSpeak text-to-speech software*. <http://espeak.sourceforge.net/>
- Howse, J., & Minichino, J. (2020). *Learning OpenCV 4 Computer Vision with Python 3. Get to grips with tools, techniques, and algorithms for computer vision and machine learning* (3.^a ed.). Packt Publishing.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2019). *Perfil sociodemográfico de la población con discapacidad, 2017*. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1675/libro.pdf
- Karmel, A., Sharma, A., Pandya, M., & Garg, D. (2019). IoT based assistive device for deaf, dumb and blind people. *Procedia Computer Science*, 165, 259-269. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.01.080>

- Kuriakose, B., Shrestha, R., & Sandnes, F. E. (2022). Tools and technologies for blind and visually impaired navigation support: A review. *IETE Technical Review*, 39(1), 3-18. <https://doi.org/10.1080/02564602.2020.1819893>
- López Jiménez, S. (2019). *Ayudas electrónicas para pacientes con discapacidad visual* [Tesis de maestría, Universidad de Valladolid]. Repositorio de la Universidad de Valladolid. <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/37124>
- Luna Soria, D. O. (2022). *Desarrollo de un prototipo de dispositivo para reconocimiento de texto tipo imprenta y su conversión en audio orientado a personas con discapacidad visual mediante técnicas de visión artificial* [Tesis de licenciatura, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio Institucional de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/21272>
- Malkadi, A., Alahmadi, M., & Haiduc, S. (2020, June). *A study on the accuracy of OCR engines for source code transcription from programming screencasts* [Presentación de escrito]. Proceedings of the 17th International Conference on Mining Software Repositories, Nueva York, Estados Unidos. <https://doi.org/10.1145/3379597.3387468>
- Manage, P., Ambe, V., Gokhale, P., Patil, V., Kulkarni, R. M., & Kalburgimath, P. R. (2020, 3-5 de diciembre). *An intelligent text reader based on python* [Presentación de escrito]. 2020 3rd International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS), Thoothukudi, India. <https://doi.org/10.1109/ICISS49785.2020.9315996>
- Namysl, M., & Konya, I. (2019, 20-25 de septiembre). *Efficient, lexicon-free OCR using deep learning* [Presentación de escrito]. 2019 International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR), Sydney, Australia. <https://doi.org/10.1109/ICDAR.2019.00055>
- Navarro Pérez, V. M. (2021). *Sistema portátil de reconocimiento de texto para la asistencia de personas ciegas o con dificultad en la visión* [Tesis de grado, Universidad Rey Juan Carlos]. Repositorio de la Universidad Rey Juan Carlos. <http://hdl.handle.net/10115/18188>
- Organización Mundial de la Salud. (2023). *Ceguera y discapacidad visual*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>
- Raspberry Pi Foundation. (2023). *Raspberry Pi 3 Model B+. Product brief*. <https://datasheets.raspberrypi.com/rpi3/raspberry-pi-3-b-plus-product-brief.pdf>
- Raspberry Pi Foundation. (2024). *Raspberry Pi Camera Module 3. Product brief*. <https://datasheets.raspberrypi.com/camera/camera-module-3-product-brief.pdf>

- Smith, R. (2007, septiembre). *An overview of the Tesseract OCR engine* [Presentación de escrito]. 9th International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR), Curitiba, Brasil. <https://doi.org/10.1109/ICDAR.2007.4376991>
- Soans, R., & Fukumizu, Y. (2024). Custom anchorless object detection model for 3D synthetic traffic sign board dataset with depth estimation and text character extraction. *Applied Sciences*, 14(14), 6352. <https://doi.org/10.3390/app14146352>
- Taylor, P. (2009). *Text-to-speech synthesis*. Cambridge University Press.
- Vidal, E., Toselli, A. H., Ríos-Vila, A., & Calvo-Zaragoza, J. (2023). End-to-end page-level assessment of handwritten text recognition. *Pattern Recognition*, 142, 109695. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2023.109695>
- Wong Cam, C. F., & Wong Morales, C. A. (Eds.). (2019). *Enfermedades de los ojos y ceguera en el Perú*. American Offset Editores. <https://wongoftalmologos.com.pe/wp-content/uploads/2024/04/Libro-Enfermedad-y-Ceguera-en-el-Peru-1.pdf>
- Xiaomi. (s. f.). *Manual de usuario de 10 000 mAh Mi 18W Fast Charge Power Bank 3*. https://i01.appmifile.com/webfile/globalimg/Global_UG/Mi_Ecosystem/10000mAh_Mi_18W_Fast_Charge_Power_Bank_3/es-ES_V1.pdf
- Yataco Marín, R. M. (2022). Tiflotecnología y el acceso a la información de las personas con discapacidad visual. *Fénix*, (50), 76-90. <https://doi.org/10.51433/fenix-bnp.2022.n50.p76-90>

ESTUDIO DE LA ADSORCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUA MEDIANTE EL USO DEL NANOCOMPÓSITO BASADO EN NANOPARTÍCULAS DE MAGNETITA Y GOMA DE TARA

SILVIA PONCE ÁLVAREZ*

<http://orcid.org/0000-0003-1583-7113>

Facultad de Ingeniería, Universidad de Lima, Perú

JAVIER QUINO FAVERO

<http://orcid.org/0000-0003-0073-2925>

Facultad de Ingeniería, Universidad de Lima, Perú

JUAN RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ

<http://orcid.org/0000-0002-9887-6419>

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú

MEDALIT CEVALLOS BARTUREN

<https://orcid.org/0000-0002-8616-4836>

Facultad de Ingeniería, Universidad de Lima, Perú

ABEL GUTARRA ESPINOZA

<http://orcid.org/0000-0002-4955-419X>

Facultad de Ingeniería, Universidad de Lima, Perú

CAROLINA BELVER COLDEIRA

<https://orcid.org/0000-0003-2590-3225>

Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Madrid, España

JORGE BEDIA MATAMOROS

<http://orcid.org/0000-0002-1605-7736>

Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Madrid, España

Recibido: 31 de enero del 2025 / Aceptado: 11 de marzo del 2025

Publicado: 10 de junio del 2025

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2025.n48.7735>

Este estudio fue financiado por Innóvate Perú a través del proyecto PIAP-3-P521-14.

* Autor corresponsal

Correos electrónicos en orden de aparición: sponce@ulima.edu.pe; jquino@ulima.edu.pe; jrodriguez@uni.edu.pe; meda27ni@gmail.com; agutarra@ulima.edu.pe; carolina.belver@uam.es; Jorge.bedia@uam.es

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. Uno de los contaminantes que se puede encontrar en los cuerpos de agua producto de la actividad industrial es el arsénico. Los métodos para la remoción de este no metal resultan ser poco eficientes y costosos; ante ello, se desarrolló un nuevo nanocompósito basado en goma de tara y nanopartículas de magnetita para la remoción de arsénico en agua. La caracterización de los nanocompósitos preparados con diferente relación (Fe_3O_4 : goma de tara) mostró la presencia de la fase magnetita, según los análisis por difracción de rayos X. El tamaño de partícula era de 13,74 nm, lo cual se determinó mediante microscopía electrónica de transmisión. Las pruebas de remoción de arsénico en agua realizadas con los nanocompósitos con diferente contenido de magnetita, variación de pH y peso de este mostraron que este material con 80 % en peso de magnetita presentaba mayor eficiencia. Los valores máximos estudiados sobre la concentración de arsénico fueron de 2 ppm, lo cual llegó a remover el 24,8 % en quince minutos de exposición con el nanocompósito con 80 % de nanopartículas de magnetita.

PALABRAS CLAVE: magnetita / goma de tara / arsénico / agua / metales pesados

STUDY OF ARSENIC ADSORPTION IN WATER USING NANOCOMPOSITE BASED ON MAGNETITE NANOPARTICLES AND TARA GUM

ABSTRACT. One of the pollutants that can be found in water bodies as a result of industrial activity is arsenic. Methods for the removal of this non-metal turn out to be inefficient and expensive. A new nanocomposite based on tara gum and magnetite nanoparticles was prepared for the removal of arsenic from water. The characterization of the nanocomposites prepared with different Fe_3O_4 : tara gum ratios showed the presence of the magnetite phase by XRD and it was also measurement the particle size (13.74 nm) by TEM. The arsenic removal tests in water carried out with the nanocomposites with different magnetite content, pH variation and nanocomposite weight showed that the nanocomposite with 80% by weight of magnetite presented higher efficiency. The maximum values studied for arsenic concentration were 2 ppm, reaching 24.8% removal in 15 minutes of exposure using the nanocomposite with 80% magnetite nanoparticles.

KEYWORDS: magnetite / tara gum / arsenic / water / heavy metals

INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos naturales más importantes para la vida humana. La contaminación ambiental, producto de las diversas actividades humanas, ha producido un efecto negativo sobre el agua disponible en el planeta para el consumo humano, lo cual se traduce en un decrecimiento sobre su cantidad a diario. Otro factor importante a tener en cuenta es el incremento de la población mundial y el crecimiento industrial, pero es el escaso manejo del agua a nivel industrial lo que produce el decrecimiento significativo de la disposición del agua (Do et al., 2025).

Uno de los contaminantes más peligrosos presente en los cuerpos de agua son los metales pesados, los cuales pueden causar efectos negativos sobre la salud humana (Qu et al., 2024; Shrestha et al., 2021). Dentro de estos, el arsénico es uno de los elementos más tóxicos y cancerígenos (National Research Council, 1999). Este se encuentra presente en el agua en tres formas inorgánicas —arsenolito (As_2O_3), óxido de arsénico (As_2O_5) y realgar (As_2O_2)—; sin embargo, generalmente está presente en dos estados de oxidación —arsenato (As V) y arsenito (As III)—. La presencia de alguno de estos estados depende del pH y el potencial redox. Por un lado, el arsenato es la forma estable en las especies inorgánicas y la más predominante en aguas. Por otro lado, el arsenito es la forma más común encontrada en aguas subterráneas anaerobias (Hechavarría-Hernández et al., 2023; Yan et al., 2024; Yu et., 2025).

La industria minera, por lo general, utiliza coagulantes inorgánicos en sus procesos para remover los sólidos suspendidos presentes en sus efluentes mediante el control del pH. Este proceso presenta varios inconvenientes, tales como gran cantidad de coagulante necesario, excesiva acumulación de lodos, inestabilidad y ruptura de agregados (Ahmad et al., 2020; Maity et al., 2021; Singh et al., 2021). Existen otros métodos alternativos para la remoción del arsénico, como la extracción de solvente por un electrodo químico, intercambio iónico, adsorción con carbón activado, precipitación y adsorción (Carneiro et al., 2025; Nikić et al., 2023). Dentro de todos los métodos mencionados, el de adsorción resulta ser el más sencillo, económico y eficiente para la remoción de metales pesados en efluentes (Singh et al., 2021; Yadav et al., 2021), por lo que este método ha captado una especial atención a nivel científico.

Otro componente muy importante para mejorar la remoción de los metales pesados en el agua es el uso de un floculante, el cual puede ser reemplazado por polímeros que podrían ser utilizados como matrices de adsorción para potenciar el tratamiento de las aguas. Dentro de estos polímeros, los biopolímeros han captado el interés de los científicos gracias a su no toxicidad, bajo costo y biodegradabilidad (Mandal et al., 2023; Thombare et al., 2016). La *Caesalpinia spinosa* o goma de tara (GT) es un biopolímero no iónico hidrofílico que tiene una cadena molecular larga con alto peso molecular y que, debido a la presencia de iones -OH en su superficie, permite

la formación de enlaces puente de hidrógeno con los metales pesados y la materia orgánica, así como su funcionalización (Valeriano-Mamani & Matos-Chamorro, 2019). Esta capacidad permite la adición de nanopartículas, como la magnetita, con el fin de mejorar sus propiedades adsorbentes. Además, su capacidad para solubilizarse en agua y biodegradarse fácilmente la hace una alternativa ideal para la remoción de metales pesados en agua (Saya et al., 2021). Las propiedades floculantes de la goma de tara son atribuidas a su elevada viscosidad para formar puentes entre las partículas suspendidas, lo cual se produce luego del proceso de adsorción de los contaminantes acuosos que origina la clarificación del agua (Choque-Quispe et al., 2018).

Los óxidos de hierro constituyen uno de los agentes más eficientes en la remoción de arsénico (Carneiro et al., 2022; Pintor et al., 2020). Las evidencias demuestran que los óxidos de hierro tienen una gran afinidad por la adsorción de los oxianiones de hierro (Aftabtalab et al., 2022; Hussain et al., 2019; Joshi et al., 2019). Las propiedades de superficie de los óxidos de hierro y la configuración espacial del arsénico permiten la adsorción de este último sobre los sitios de los óxidos de hierro que producen complejos de hierro (Ahmad et al., 2018; Gude et al., 2016). La eficiencia se ve incrementada en el proceso cuando los materiales se encuentran a escala nanométrica (Yu et al., 2022). Un punto importante que debe tenerse en cuenta cuando se remueve un contaminante es la separación del contaminante del material adsorbente, lo cual resulta difícil en la mayoría de los métodos de remoción de contaminantes. Debido a esto, luego de la remoción, se obtienen lodos que contienen el contaminante, por lo que es necesario gestionar estos residuos. Una de las ventajas de las nanopartículas de magnetita (MNP) es que son materiales superparamagnéticos que permiten su separación de una solución acuosa de manera sencilla a través de la aplicación de un pequeño campo magnético que permite la separación del agua, lo cual ha atraído interés a nivel de la comunidad científica.

En este estudio, se plantea la preparación del nanocompósito adsorbente, basado en MNP y GT, capaz de remover al arsénico del agua, y que permite reducir la cantidad de efluentes acuosos gracias a su biodegradabilidad, lo que beneficia a la reducción de los lodos en los procesos mineros. El estudio de la caracterización de este nanocompósito se realizó mediante DRX, FTIR, SBET, TEM, además de evaluarse la capacidad adsorbente del nanocompósito para la remoción de arsénico en agua.

METODOLOGÍA

Reactivos

La GT fue suministrada por Molinos Asociados S. A. C. (MASAC) de Perú; el cloruro de hierro III al 98 % y el cloruro de hierro II al 98 %, por la marca Aldrich; el hidróxido de

amonio y ácido clorhídrico, por la marca J. T. Baker; y el nitrógeno gaseoso al 99,999 %, por Linde Gas.

Preparación de la solución de goma de tara

La GT fue proporcionada por la empresa MASAC. Para la preparación de la solución, se pesaron 500 mg del compuesto y se disolvieron en 40 ml de agua desionizada en un vaso. La solución se mantuvo en agitación constante por tres horas a 500 r. p. m., tiempo necesario para la maduración de la goma.

Síntesis de los nanocompósitos MNP-GT

Para la obtención del nanocompósito de nanopartículas de magnetita y goma de tara (MNP-GT), se prepararon las siguientes soluciones: GT al 0,61 %, una solución acuosa de FeCl_3 ($0,30 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$) y una solución de FeCl_2 ($0,30 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$). Estas dos últimas soluciones fueron mezcladas en una relación de peso adecuada para obtener diferentes relaciones de magnetita y de GT. Para ello, se prepararon nanocompósitos que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1

Proporciones de los reactivos utilizados para la preparación del nanocompósito

Nanocompósito	MNP (% W)	GT (% W)
MNP04-GT	4	96
MNP20-GT	20	80
MNP50-GT	50	50
MNP80-GT	80	20

Posteriormente, con un balón de tres bocas, se colocó una solución desoxigenada de NH_4OH 0,70 mol y luego se fue agregando la solución mezcla de hierro gota a gota. Con una agitación constante, se añadió la solución de GT y, posteriormente, se ajustó el pH a 10. La solución obtenida se agitó por 4,5 horas a 1200 r. p. m. Los nanocompósitos obtenidos fueron almacenados a 277 K debido a su biodegradabilidad.

Caracterización de los nanocompósitos preparados

La caracterización de los nanocompósitos MNP-GT se llevó a cabo mediante el uso de diferentes técnicas, como difracción de rayos X (DRX), espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), determinación del área superficial BET and microscopía electrónica de transmisión (TEM). Los estudios de difracción de rayos X de las muestras se realizaron con una radiación Cu-K α . La evaluación estructural se realizó

mediante espectroscopía FTIR, mientras que los cambios morfológicos se estudiaron mediante TEM. La determinación del área superficial se realizó mediante isotermas BET (Brunauer-Emmett-Teller, SBET). Las propiedades magnéticas se evaluaron con el uso de un magnetómetro de muestra vibrante (*vibrating sample magnetometer*, VSM) de fabricación casera, operado a temperatura ambiente.

La determinación del nivel de adsorción de arsénico por parte del nanocompósito magnético se realizó mediante el uso de un reactor discontinuo (*batch reactor*), el cual contenía la solución acuosa contaminada artificialmente con arsénico. Esta solución fue preparada con arsenito de sodio (NaAsO_2 , Merck) disuelto en agua desionizada. Los experimentos de adsorción se llevaron a cabo a un pH de 7 en continua agitación por 30 minutos. Luego de transcurrido este tiempo, las muestras fueron medidas en el equipo PS Analytical Millennium Excalibur. Se trabajó en rangos que van desde los $0,07 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ a $2,0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ a pH 7 con el fin de poder estudiar la adsorción del arsénico en las muestras. La concentración máxima utilizada en los estudios de adsorción de arsénico fue de $2,0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ debido a que este valor fue reportado como el máximo valor permisible en los efluentes mineros.

Ensayos de susceptibilidad enzimática del nanocompósito

Para estimar la susceptibilidad hacia la biodegradación, las muestras de GT y nanocompósito basado en GT fueron sometidas a la hidrólisis enzimática. La manosa liberada por la hidrólisis enzimática puede ser cuantificada a través de un ensayo acoplado con glucosa oxidasa (GOD), peroxidasa (POD) y o-dianisidina que actúa como cromógeno (Scaman et al., 1996). La manosa es oxidada por la GOD y el peróxido de hidrógeno liberado durante la reacción oxida la o-dianisidina en una segunda reacción catalizada por la POD. La o-dianisidina oxidada puede ser monitoreada espectrofotométricamente a 500 nm, así el aumento de la absorbancia es proporcional a la tasa de hidrólisis del sustrato.

La mananasa de *Aspergillus niger* (80 U/mL) y la β -manosidasa de *Cellulomonas fimi* (80 U/mL) fueron adquiridas de Megazyme Labs. La glucosa oxidasa de *Aspergillus niger* (128 200 U/g), la peroxidasa de rábano picante (179,2 purpurogallin U/mg) y la o-dianisidina (como dihidrocloruro) se obtuvieron de Sigma-Aldrich. La GT o el MNP-GT basado en goma de tara fueron utilizados como sustratos de la hidrólisis enzimática. La reacción se llevó a cabo en un volumen final de 755 μL de tampón acetato (pH 5,1), que contenía 128 unidades de glucosa oxidasa, 18 unidades de peroxidasa y 1,29 mmol de o-dianisidina. Tras equilibrar la mezcla a 37 °C, se inició la reacción mediante la adición de una mezcla con 2,4 unidades de β -manosidasa y 6 unidades de mananasa.

La reacción fue monitoreada a 500 nm con un espectrofotómetro UV/Vis Perkin-Elmer Lambda 40 con portacubetas termostatizado. La medición se registró

continuamente durante 180 minutos. Las pendientes (tasas de reacción) se calcularon con el *software* UV Kinlab de Perkin-Elmer, y las absorbancias se convirtieron en concentraciones molares mediante el coeficiente de extinción molar de la o-dianisidina oxidada: $4,83 \times 10^3 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ a 500 nm y 37 °C (Siotto et al., 2014).

Con el fin de estimar la susceptibilidad de la biodegradabilidad del MNP-GT, se realizaron pruebas de hidrólisis enzimática, en las que el nanocompósito actuó como sustrato. La reacción se llevó a cabo en 755 µL de tampón acetato (50 mM, pH 5,1) y contenía 128 unidades de glucosa oxidasa, 18 unidades de peroxidasa y 1,29 µmol de o-dianisidina. La reacción fue monitoreada con el espectrofotómetro UV/Vis Perkin-Elmer Lambda 40 a 500 nm durante 180 minutos, equipado con un portacubetas termostizado (Scaman et al., 1996; Siotto, 2014).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

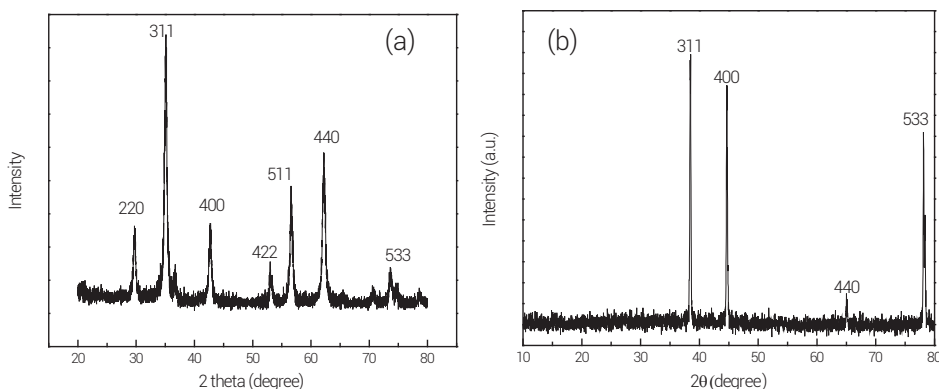
Se realizó la caracterización de todos los nanocompuestos preparados con las técnicas mencionadas anteriormente. Se observó la presencia de nanopartículas de magnetita en todos los casos, las cuales no se encontraban aglomeradas. Asimismo, no se evidenciaron estructuras diferentes a la presencia de magnetita en los materiales preparados. Posteriormente, se evaluó la capacidad para la remoción de arsénico en aguas artificialmente contaminadas y se determinó que el nanocompósito MNP80-GT presentaba mayor adsorción de arsénico. A continuación, se muestra la caracterización, estudios de adsorción y susceptibilidad enzimática de este nanocompósito (MNP80-GT).

Difracción de rayos X

El análisis por difracción de rayos X (DRX) del nanocompósito obtenido mostró la presencia de las nanopartículas de magnetita. La Figura 1b muestra el difractograma del nanocompósito MNP-GT, donde se puede apreciar la presencia de picos bien definidos en 38°, 44°, 65° y 78°, asociados a la fase magnetita para los planos 311, 400, 440 y 533 (JCPDS Card: N.º 79-0417) (Mendes et al., 2023). La comparación entre los patrones DRX del nanocompósito MNP80-GT (Figura 1b) y la magnetita sintetizada (Figura 1a) demostró un desplazamiento de los picos asociados a la presencia de magnetita, lo cual es debido al arreglo estructural que se produce para la formación de la cadena polimérica, la cual debe dar paso a la magnetita (Feuser et al., 2015; Mendes et al., 2023). Los picos que se observan en ambos difractogramas están bien definidos, lo cual se asocia a la cristalinidad de la magnetita y el MNP-GT, lo cual definiría la incorporación de las MNP en la estructura de la GT (Aguilera et al., 2019; Bhakat et al., 2018).

Figura 1

Comparación entre los patrones DRX



Nota. (a) Difractogramas de la magnetita sintetizada; (b) nanocompuesto MNP80-GT.

Espectroscopía FTIR

Los espectros FTIR (Figura 2) muestran bandas de adsorción entre 3700 a 3000 cm^{-1} y 1405 cm^{-1} , las cuales corresponden a las vibraciones O-H asociadas a los grupos hidroxilo presentes en la estructura responsable de la afinidad de la GT con las nanopartículas de magnetita. La banda ancha presente entre 3000 y 2700 cm^{-1} podría estar asociada al estrechamiento C-H (Gomez-Maldonado et al., 2022). Las bandas que se encuentran entre 1190 y 920 cm^{-1} podrían asignarse a la presencia de los enlaces C-O y C-O-H (Gomez-Maldonado et al., 2022; Prado et al., 2005), las cuales estarían presente debido al contenido de galactomananos en la goma de tara. Tal como se puede observar, el espectro de la muestra MNP80-GT (Figura 3b) se ha desplazado hacia números de onda inferiores debido a la adición de magnetita en la estructura de la GT. Además, se puede observar que la absorción de las bandas comprendidas entre 1190 y 920 cm^{-1} para el MNP80-GT se ha incrementado. Ello indica que la interacción entre los grupos hidroxilos del polímero y la magnetita es fuerte. El espectro de MNP80-GT muestra un incremento en la intensidad del pico ubicado a 1610 cm^{-1} , lo cual es asociado a la formación de enlaces puente de hidrógeno entre la GT y el MNP (Zhuang et al., 2020).

Figura 2

Espectros FTIR de los nanocompuestos

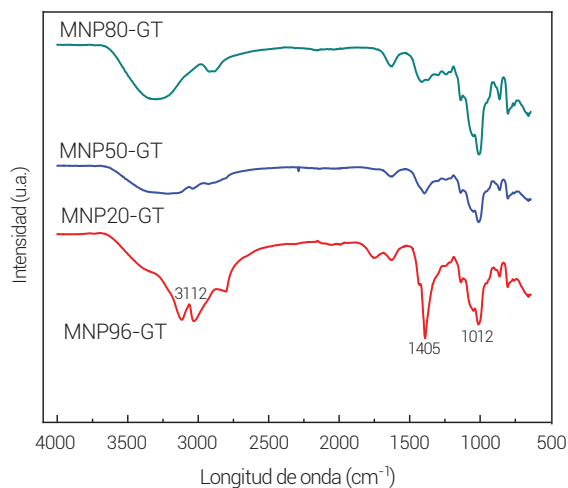
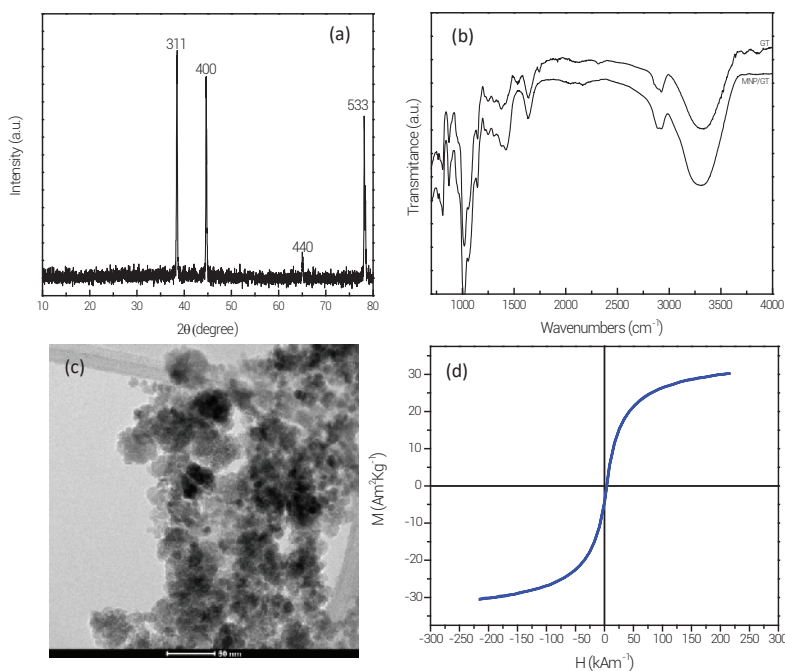


Figura 3

Estudio de la estructura del nanocompósito MNP80-GT



Nota. (a) Difractograma DRX; (b) espectros FTIR; (c) micrografía TEM; (d) curva de histéresis magnética del nanocompósito MNP80-GT entre -225 000 y 225 000 a 300 000.

Microscopía electrónica de transmisión

Las micrografías obtenidas mediante el microscopio electrónico de transmisión (MET) se muestran en la Figura 3c, donde se puede apreciar la presencia de las MNP en las incorporadas en la estructura de la GT. Tal como se puede observar, el método utilizado para la preparación no produjo aglomeración de las nanopartículas, lo cual es fundamental para las propiedades magnéticas del material, como una alta magnetización (Aguilera et al., 2019; Bhakat et al., 2018). Se puede observar que las nanopartículas son esféricas y bien definidas, lo cual muestra un diámetro aproximado de 13,16 nm. Estos datos fueron corroborados con los obtenidos mediante la técnica de *dynamic light scattering* (DLS).

Determinación de la superficie

Se determinó la superficie específica del MNP80-GT mediante el uso de la isoterma BET con nitrógeno a 77 K. Los datos obtenidos mostraron que la adsorción correspondía a una isoterma tipo II asociada a macroporos (Buttersack, 2022). El área total superficial del nanocompósito fue alrededor de $60,6629 \text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$, la cual es considerada pequeña.

Estudio de las propiedades magnéticas

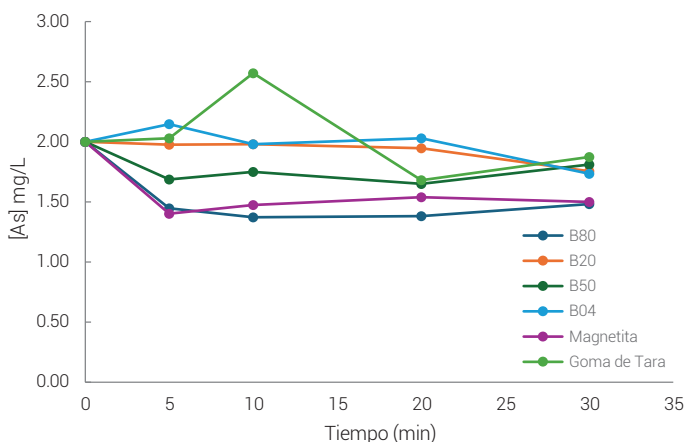
La Figura 3d muestra la curva de magnetización (M-H) a temperatura ambiente del MNP80-GT. La curva muestra una ausencia de la histéresis ($H_c = 0$), la cual se espera para materiales superparamagnéticos. La saturación por magnetización (M_s) se encuentra alrededor de 30 a $35 \text{ A}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-1}$, la cual se encuentra acorde al contenido de magnetita del nanocompósito. Una muestra con 100 % de magnetita podría mostrar una M_s alrededor de $40 \text{ A}\cdot\text{m}^2\cdot\text{Kg}^{-1}$, lo cual se encuentra en correlación con otras investigaciones realizadas por otros autores (Sun et al., 2015; Tang et al., 2021; Tang et al., 2022).

Estudios de adsorción de arsénico

Con el fin de evaluar la capacidad de adsorción de arsénico en agua de los nanocompósitos, se llevaron a cabo pruebas de remoción del contaminante; para ello, se usó agua contaminada artificialmente con $2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de arsénico. La Figura 4 muestra la evaluación de la capacidad adsorbente con el paso del tiempo, donde se pudo observar que el nanocompósito MNP80-GT era el que mostró una mayor capacidad de remoción, razón por la que se realizaron estudios sobre las variaciones del pH y la masa de adsorbente.

Figura 4

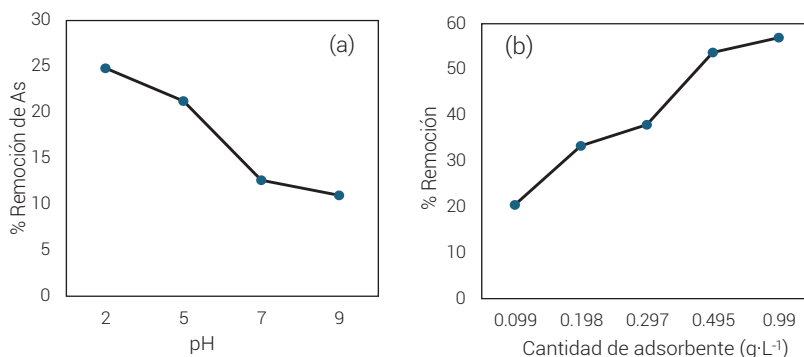
Adsorción de arsénico en agua con los diferentes nanocompuestos



Los estudios sobre la variación del pH de la solución contaminada artificialmente (Figura 5a) mostraron que la remoción se favorecía cuando se usó un pH ácido a temperatura ambiente (25 °C), pues se alcanzaba una remoción del 24,8 %. Este efecto se atribuye a que este medio incrementa la carga positiva sobre la superficie de las nanopartículas de magnetita, lo que promueve la atracción electrostática de las especies del arsénico. A un pH ácido, los grupos funcionales presentes en la magnetita (-OH) se protonan y se cargan positivamente para facilitar la interacción con los iones del arsénico como el arseniato (Chowdhury & Yanful, 2010). De acuerdo con los espectros FTIR obtenidos para el nanocompósito MNP-GT, se puede observar la presencia de grupos -OH, que facilitan esta interacción con los iones del arsénico.

Figura 5

Capacidad de remoción de arsénico



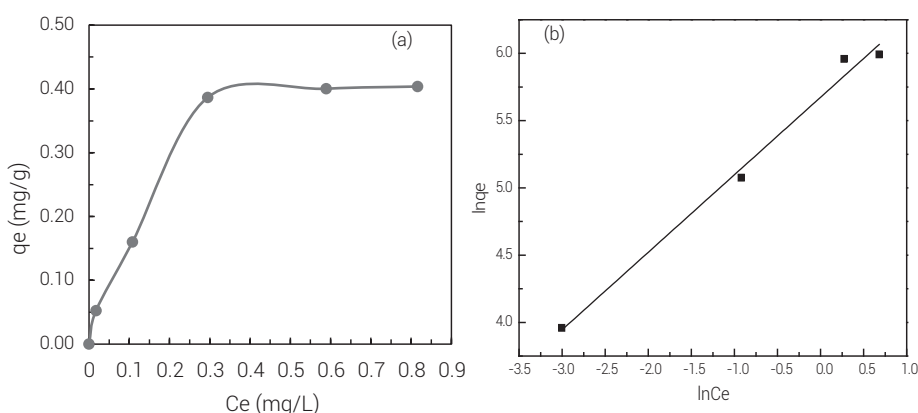
Nota. (a) En función de la variación del pH a una concentración de 0,10 g·L⁻¹ y (b) en función de la concentración del adsorbente (25 °C).

De la misma manera, se realizaron estudios sobre la concentración del nanocompósito MNP80-GT (Figura 5b) con el fin de determinar el efecto de la concentración del adsorbente. Se encontró que la capacidad de remoción se incrementaba con el aumento del adsorbente de forma lineal.

Los estudios de adsorción para el nanocompósito MNP80-GT se realizaron a 298 K y pH 7. Se mostró que la capacidad para la adsorción del arsénico se incrementaba con el aumento inicial del contaminante (Figura 6a), donde se obtuvo una capacidad de adsorción de 0,40 mg·g. Los datos sobre el equilibrio fueron ajustados a las ecuaciones de las isothermas de Lagmuir y Freundlich (Kalam et al., 2021) con coeficientes de 0,8795 y 0,9856, respectivamente, por lo que la isoterma a la cual se ajustaría mejor sería la de Freundlich.

Figura 6

Estudios de adsorción con MNP-GT



Nota. (a) Isotherma de adsorción del arsénico; (b) isoterma de Freundlich.

Pruebas de susceptibilidad enzimática del nanocompósito

La susceptibilidad enzimática, un tipo de prueba de selección, puede ser utilizada como una manera de simular la biodegradación *in situ* (Itävaara & Vikman, 1996), porque son necesarias para la ruptura de los polímeros naturales. Las enzimas extracelulares son utilizadas por los microorganismos para convertir los sacáridos poliméricos a productos solubles que son transportables dentro de las células (Warren, 1996). Los ensayos de degradación enzimática son utilizados cuando la estructura del polímero es conocida y las enzimas que degradan el polímero se encuentran disponibles (Itävaara & Vikman, 1996). La GT es un galactomanano que consiste de un esqueleto de 1,4-β-D-manosa y cadenas laterales de 1,6-α-D-galactosa, con una relación galactosa/manosa de 1 a 3 (Naoi, et al., 2002). Las enzimas hidrolíticas relacionadas a la hidrólisis de los mananos

y, en consecuencia, a la hidrólisis de la goma de tara son la mananasa, la β -manosidasa y la α -galactosidasa (Malgas et al., 2015). Nuestros ensayos tuvieron como objetivo degradar el esqueleto y monitorear la tasa de formación de la o-dianisidina oxidada, que es proporcional a la tasa de formación de manosa y, por ende, una medida de la susceptibilidad del polímero o nanocompósito basado en GT a la biodegradación. Las tasas fueron medidas con GT y con el MNP80-GT (Tabla 2).

Tabla 2

Tasas de degradación

Sustrato ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Concentración de las muestras ($\text{nmol}\cdot\text{min}^{-1}$)	
	GT	MNP80-GT
0,1625	0,07815735	0,07815735
0,3250	0,06252588	0,07815735
0,6500	0,03126294	0,04689441
1,3000	0,07815735	0,09378882

Como puede verse, en promedio, las diferencias en las tasas de degradación son pequeñas. Esto puede ser interpretado como que el sustrato (modificado o no) tiene la misma susceptibilidad al ataque enzimático, lo que significa que la modificación no alterará sustancialmente la degradación enzimática, es decir, la primera etapa de la biodegradación.

CONCLUSIONES

En este trabajo, se incorporaron las nanopartículas de magnetita en la estructura de la GT mediante el método de coprecipitación con la aplicación de una preparación simple en atmósfera inerte. La incorporación de las nanopartículas de magnetita en la estructura de la GT no produjo una reducción significativa sobre la cantidad de grupos hidroxilo ($-\text{OH}$) presentes en la estructura de la GT, los cuales favorecen la adsorción del arsénico en el agua.

Asimismo, los estudios superficiales del nanocompósito MNP-GT no mostraron una aglomeración de las nanopartículas de magnetita a pesar de su tamaño (13 nm). Las propiedades del nanocompósito MNP80-GT mostraron una gran eficiencia en la remoción de iones arsénico en el agua a pesar de presentar una superficie específica reducida (SBET : $60\text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$). De acuerdo con la evaluación de las propiedades magnéticas del MNP80-GT, se determinó que el material era superparamagnético. Asimismo, la evaluación sobre la degradabilidad enzimática del nanocompósito MNP80-GT demostró que la presencia de las nanopartículas de magnetita en la goma de tara no influenciaba en su capacidad para degradarse. Por ello, el nanocompósito MNP80-GT

es una alternativa ecoamigable a los floculantes que se utilizan actualmente para la remoción de arsénico.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Silvia Patricia Ponce Álvarez: conceptualización, *data curation*, análisis formal, adquisición de fondos, investigación, metodología, administración de proyecto, recursos, supervisión, validación, visualización, escritura-borrador original, redacción (revisión y edición). **Javier Martín Quino Favero:** conceptualización, *data curation*, investigación, metodología, supervisión, validación, visualización, escritura-borrador original, redacción (revisión y edición). **Juan Martín Rodríguez Rodríguez:** conceptualización, *data curation*, investigación, metodología, recursos, supervisión, validación, visualización, escritura-borrador original, redacción (revisión y edición). **Medalit Cevallos Barturen:** *data curation*, análisis formal, investigación, validación, visualización, redacción (revisión y edición). **Abel Gutarra Espinoza:** *data curation*, análisis formal, investigación, metodología, supervisión, validación, visualización, escritura-borrador original, redacción (revisión y edición). **Carolina Belver Coldeira:** conceptualización, *data curation*, análisis formal, investigación, metodología, supervisión, validación, visualización, escritura-borrador original, redacción (revisión y edición). **Jorge Bedia Matamoros:** conceptualización, *data curation*, análisis formal, investigación, metodología, supervisión, validación, visualización, escritura-borrador original, redacción (revisión y edición).

REFERENCIAS

- Aftabtalab, A., Rinklebe, J., Shaheen, S., Khan Niazi, N., Moreno-Jiménez, E., Schaller, J., & Knorr, K.-H. (2022). Review on the interactions of arsenic, iron (oxy)(hydr) oxides, and dissolved organic matter in soils, sediments, and groundwater in a ternary system. *Chemosphere*, 286(2), 131790 <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131790>
- Aguilera, G., Berry, C., West, R., Gonzalez-Monterrubio, E., Angulo-Molina, A., Arias-Carrión, O., & Méndez-Rojas, M. A. (2019). Carboxymethyl cellulose coated magnetic nanoparticles transport across a human lung microvascular endothelial cell model of the blood-brain barrier. *Nanoscale Advances*, 1, 671-685. <https://doi.org/10.1039/C8NA00010G>

- Ahmad, A., Cornelissen, E., van de Wetering, S., van Dijk, T., van Genuchten, C., Bundschuh, J., van der Wal, A., & Bhattacharya, P. (2018). Arsenite removal in groundwater treatment plants by sequential permanganate-ferric treatment. *Journal of Water Process Engineering*, 26, 221-229. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.10.014>
- Ahmad, A., van der Wens, P., Baken, K., de Waal, L., Bhattacharya, P., & Stuyfzand, P. (2020). Arsenic reduction to <1µg/L in Dutch drinking water. *Environmental International*, 134(105253). <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105253>
- Bhakat, D., Barik, P., & Bhattacharjee, A. (2018). Electrical conductivity behavior of Gum Arabic biopolymer-Fe₃O₄ nanocomposites. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 112, 73-79. <https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2017.09.002>
- Buttersack, C. (2022). Modeling of type II high-resolution sorption isotherms: Evaluation of different approaches. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 650, 129489. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2022.129489>
- Carneiro, M., Coelho, J., Pintor, A., Boaventura, R., Botelho, C. (2022). Multi-cycle regeneration of arsenic-loaded iron-coated cork granulates for water treatment, *Journal of Water Process Engineering*, 50, 103291. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.103291>
- Carneiro, M., Tomasi, I., Boaventura, R., Botelho, C., & Pintor, A. (2025). Environmental impact and cost analysis of arsenic removal from water using iron-based adsorbents: Comparison between natural and commercial materials. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 13(1), 115044. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.115044>
- Choque-Quispe, D., Choque-Quispe, Y., Solano-Reynoso, A. M., & Ramos-Pacheco, B. S. (2018). Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. *Tecnología Química*, 38(2), 298-309. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852018000200008&lng=es&tlng=es
- Chowdhury, S. R., & Yanful, E. K. (2010). Arsenic removal from aqueous solutions by adsorption on magnetite nanoparticles. *Water and Environment Journal*, 25(3), 429-437. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2010.00242.x>
- Do, D., Le, A., Vu, V., Le, D., & Bui, H. (2025). Evaluation of water quality and key factors influencing water quality in intensive shrimp farming systems using principal component analysis-fuzzy approach. *Desalination and Water Treatment*, 321, 101002. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2025.101002>
- Feuser, P., dos Santos, L., dos Santos, M., da Cas, A., Castilho, A., Ricci-Junior, E., Nele, M., Tedesco, A., Sayer, C., & Hermes, P. (2015). Encapsulation of magnetic nanoparticles in poly(methyl methacrylate) by miniemulsion and evaluation of

- hyperthermia in U87MG cells. *European Polymer Journal*, 68, 355-365. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2015.04.029>
- Gomez-Maldonado, D., Ponce, S., & Peresin, M. S. (2022). The applicability of cellulose – Tara Gum composite hydrogels as dye capture adsorbents. *Water, Air, and Soil Pollution*, 233(8), Artículo 340. <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05818-z>
- Gude, J. C. J., Rietveld, L.C., & van Halem, D. (2016). Fate of low arsenic concentrations during full-scale aeration and rapid filtration. *Water Research*, 88, 566-574. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.10.034>
- Hechavarría-Hernández, A., Martins, J., Barbiero, L., Rezende-Filho, A., Montes, C., Melfi, A., & Fostier, A. (2023). Spatial and seasonal variation of arsenic speciation in Pantanal soda lakes. *Chemosphere*, 329, 138672. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138672>
- Hussain, M., Bibi, I., Shahid, M., Shaheen, S., Shakoor, M., Bashir, S., Younas, F., Rinklebe, J., & Niazi, N. (2019). Chapter Two. Biogeochemical cycling, speciation and transformation pathways of arsenic in aquatic environments with the emphasis on algae. *Comprehensive Analytical Chemistry*, 85, 15-51. <https://doi.org/10.1016/bs.coac.2019.03.007>
- Itävaara, M., & Vikman, M. (1996). An overview of methods for biodegradability testing of biopolymers and packaging materials. *Journal of Environmental Polymer Degradation*, 4, 29-36. <https://doi.org/10.1007/BF02083880>
- Joshi, S., Sharma, M., Kumari, A., Shrestha, S., & Shrestha, B. (2019). Arsenic removal from water by adsorption onto iron oxide/nano-porous carbon magnetic composite. *Applied Science*, 9(18), 3732. <https://doi.org/10.3390/app9183732>
- Kalam, S., Abu-Khamsin, S., Kamal, M., & Patil, S. (2021). Surfactant adsorption isotherms: A review. *ACS Omega*, 6(48), 32342-32348. <http://doi.org/10.1021/acsomega.1c04661>
- Maity, J., Chen, C.-Y., Bhattacharya, P., Sharma, R., Ahmad, A., Patnaik, S., & Bundschuh, J. (2021). Advanced application of nano-technological and biological processes as well as mitigation options for arsenic removal. *Journal of Hazardous Materials*, 405, 123885. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123885>
- Malgas, S., van Dyk, J. S., & Pletschke, B. I. (2015). A review of the enzymatic hydrolysis of mannans and synergistic interactions between β -mannanase, β -mannosidase and α -galactosidase. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 31(8), 1167-1175. <http://doi.org/10.1007/s11274-015-1878-2>
- Mandal, S., Hwang, S., & Shi, S. Q. (2023). Guar gum, a low-cost sustainable biopolymer, for wastewater treatment: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 226, 368-382. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.12.039>

- Mendes, J., Feuser, P., Cercená, R., Peterson, M., & Gonçalves, A. (2023). Obtention of magnetite nanoparticles via the hydrothermal method and effect of synthesis parameters. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 580, 170925. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2023.170925>
- Naoi, S., Hatakeyama, T., & Hatakeyama, H. (2002). Phase transition of locust bean gum-, tara gum- and guar gum-water systems. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 70, 841-852. <https://doi.org/10.1023/A:1022260304686>
- National Research Council. (1999). *Arsenic in drinking water*. National Academy Press. <https://doi.org/10.17226/6444>
- Nikić, J., Watson, M., Tenodi, K., Dalmacija, B., & Agbaba, J. (2023). Pilot study on arsenic removal from phosphate rich groundwater by in-line coagulation and adsorption. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 10, 100280. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2023.100280>
- Pintor, A., Vieira, B., Brandão, C., Boaventura, R., & Botelho, C. (2020). Complexation mechanisms in arsenic and phosphorus adsorption onto iron-coated cork granulates. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5), 104184. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104184>
- Prado, B., Kim, S., Özen, B., & Mauer, L. (2005). Differentiation of carbohydrate gums and mixtures using fourier transform infrared spectroscopy and chemometrics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(8), 2823-2829. <https://doi.org/10.1021/jf0485537>
- Qu, M., Xiong, J., Zhou, J., Wang, L., Hu, T., Liu, F., & Zhang, Q. (2024). Modified water treatment residual serves as an adsorbent for the removal of heavy metals from water: A review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 146, 122-135. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2024.11.048>
- Saya, L., Malik, V., Singh, A., Singh, G., Gambhir, G., Singh, W., Chandra, R., & Hooda, S. (2021). Guar gum based nanocomposites: role in water purification through efficient removal of dyes and metal ions. *Carbohydrate Polymers*, 261, 117851. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117851>
- Scaman, C. H., Lipari, F., & Herscovics, A. (1996). A spectrophotometric assay for α -mannosidase activity. *Glycobiology*, 6(3), 265-70. <http://doi.org/10.1093/glycob/6.3.265>
- Shrestha, R., Ban, S., Devkota, S., Sharma, S., Joshi, R., Tiwari, A., Kim, H., & Joshi, K. (2021). Technological trends in heavy metals removal from industrial wastewater: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 105688. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105688>

- Singh, P., Borthakur, A., Singh, R., Bhadouria, R., Singh, V., & Devi, P. (2021). A critical review on the research trends and emerging technologies for arsenic decontamination from water. *Groundwater for Sustainable Development*, 14, 100607. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2021.100607>
- Siotto, M., Pasqualetti, P., Marano, M., & Squitti, R. (2014). Automation of o-dianisidine assay for ceruloplasmin activity analyses: Usefulness of investigation in Wilson's disease and in hepatic encephalopathy. *Journal of Neural Transmission*, 121(10), 1281-1286. <https://doi.org/10.1007/s00702-014-1196-0>
- Sun, Y., Han, Y., Gao, P., Wei, X., & Li, G. (2015). Thermogravimetric study of coal-based reduction of oolitic iron ore: Kinetics and mechanisms. *International Journal of Mineral Processing*, 143, 87-97. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2015.09.005>
- Tang, Z., Liu, X., Gao, P., Han, Y., & Xu, B. (2022). Effective induction of magnetite on suspension magnetization roasting of hematite and reaction kinetics verification. *Advanced Powder Technology*, 33(6), 103593. <https://doi.org/10.1016/j.appt.2022.103593>
- Tang, Z., Zhang, Q., Sun, Y., Gao, P., & Han, Y. (2021). Pilot-scale extraction of iron from flotation tailings via suspension magnetization roasting in a mixture of CO and H₂ followed by magnetic separation. *Resources, Conservation and Recycling*, 172, 105680. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105680>
- Thombare, N., Jha, U., Mishra, S., & Siddiqui, M. Z. (2016). Guar gum as a promising starting material for diverse applications: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 88, 361-372. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.04.001>
- Valeriano-Mamani, J., & Matos-Chamorro, R. (2019). Influence of tara (*Caesalpinia spinosa*) gum as an aid in the coagulation-flocculation process to remove the turbidity of an artificial suspension of bentonite. *Información Tecnológica*, 30(5), 299-308. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000500299>
- Warren, R. A. J. (1996). Microbial hydrolysis of polysaccharides. *Annual Review of Microbiology*, 50(1), 183-212. <http://doi.org/10.1146/annurev.micro.50.1.183>
- Yadav, M., Singh, G., & Jadeja, R. (2021). Physical and chemical methods for heavy metal removal. *Pollutants and Water Management: Resources, Strategies and Scarcity*, 15, 377-397. <https://doi.org/10.1002/9781119693635.ch15>
- Yan, W., He, X., Chen, M., Qian, B., Li, M., Yan, Y., Lin, C., & Mao, Z. (2024). High arsenic pollution of the eutrophic Lake Taihu and its relationship with iron, manganese, and dissolved organic matter: High-resolution synchronous analysis. *Journal of Hazardous Materials*, 467, 133644. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.133644>

- Yu, X., Yang, R., Wu, C., Liu, B., & Zhang, W. (2022). The heating efficiency of magnetic nanoparticles under an alternating magnetic field. *Scientific Reports*, 12, 16055. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-20558-0>
- Yu, Z., Wei, C., Yang, F., Li, Z., Jiang, B., Dai, W., Tang, C., & Zhang, Y. (2025). Colloids fractionation and characterization of arsenic (As) and dissolved organic matter (DOM) in surface water around a closed arsenic mine. *Journal of Hazardous Materials*, 487, 137094. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.137094>
- Zhuang, J., Li, M., Pu, Y., Ragauskas, A. J., & Yoo, C. G. (2020). Observation of potential contaminants in processed biomass using fourier transform infrared spectroscopy. *Applied Sciences*, 10(12), 4345. <https://doi.org/10.3390/app10124345>

DATOS DE LOS AUTORES

IMPACTO DE LA INVESTIGACIÓN OPERATIVA EN LA MEJORA DE LA EFICIENCIA LOGÍSTICA DE LAS EMPRESAS EN BENGUELA

NANIKAFUAKO AUGUSTO LUSENDE ANDRÉ

Posee una maestría en Ingeniería Informática por la Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal y es licenciado en Ingeniería Informática por el Instituto Superior Politécnico Benguela (ISPB). Investigador en el ISPB en Benguela (Angola) y es afiliado a la Universidade Katyavala Bwila.

ROBERTO CRUZ ACOSTA

Doctor en Proyectos por la Universidad Internacional Iberoamericana (UNINI México). Posee una maestría en Tecnologías de Procesos Educativos por el Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. Graduado por el Instituto Superior Pedagógico Rubén Martínez Villena en la especialidad en Informática. Es jefe del Departamento de Ingeniería Informática en el Instituto Superior Politécnico Benguela (ISPB) en Benguela, Angola.

PLANIFICACIÓN AGREGADA PARA EL TRANSPORTE DE PERSONAL Y MATERIALES EN EL SECTOR HIDROCARBUROS

CARLOS SEBASTIÁN PACHÓN CUBIDES

Ingeniero industrial por la Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Opción académica en Emprendimiento de la Universidad de los Andes. Actualmente, labora como asistente de mercado en la empresa SMTD SAS, Bogotá, Colombia.

LUIS TARAZONA-TORRES

Doctorando en Ingeniería de la Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Magíster en Ingeniería Industrial por la Universidad de los Andes. Ingeniero químico por la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Perú. Actualmente, labora como asistente doctoral de docencia del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de los Andes.

LEAN MANUFACTURING Y SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE PLÁSTICO

DAYANARA DAILY MONSERRATE SALVATIERRA

Ingeniera industrial por la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador. Auditora interna en la implementación e interpretación de sistemas integrados de gestión en las normas ISO 9001, ISO 14001 e ISO 4500. También se desempeña como supervisora de producción en la fábrica de insumos plásticos para el banano Plamaband. Anteriormente, ocupó el cargo de jefa de bodega en la empresa de servicios agrícolas Servipaxa S. A. Además, ha trabajado como asistente de producción.

YANELIS RAMOS ALFONSO

Doctora en Ciencias Técnicas, magíster en Administración de Empresas con mención en Gestión de la Producción y los Servicios, e ingeniera industrial por la Universidad de Matanzas Cuba. Es profesora e investigadora de la carrera de Ingeniería Industrial de la Facultad Ingeniería y Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. Ha sido docente universitaria en la Universidad de Matanzas, Cuba, donde ocupó responsabilidades como directora de carrera y el área doctoral de la carrera. Ha obtenido premios por su contribución a la formación doctoral y por sus publicaciones de alto impacto.

RICARDO LARRY CASTRO COELLO

Ingeniero industrial por la Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. Magíster en Gerencia Educativa por la Universidad Estatal del Sur de Manabí. También es magíster en Calidad Total por la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría. Laboró como docente en la carrera de Ingeniería Química en múltiples asignaturas. Excoordinador del Departamento de Industrial de la Universidad Técnica de Manabí. Actualmente, se desempeña como docente responsable de prácticas y pasantías preprofesionales y docente tutor en posgrado en la Universidad Técnica de Manabí.

IMPACTO DE LOS GENERADORES ELÉCTRICOS EN LA AUDICIÓN DE LOS TRABAJADORES: ESTUDIO DE CASO EN LOCALES COMERCIALES DEL CENTRO DE AMBATO, ECUADOR

JOSÉ FERNANDO MENDOZA RODRÍGUEZ

Magíster en Administración de Empresas con mención en Sistemas Integrados de Gestión por la Universidad Técnica de Ambato. Magíster en Tecnología e Innovación Educativa por la Universidad Técnica del Norte y egresado de la maestría en Matemática Aplicada por Universidad Nacional de Chimborazo. Es ingeniero industrial por la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Docente investigador acreditado por la Secretaría de Educación Superior, Ciencias, Tecnología e Innovación. Actualmente, es docente de Matemática y Física en la Unidad Educativa Joaquín Lalama de la ciudad de Ambato.

CHRISTOPHER SEBASTIÁN POAQUIZA AUCATOMA

Bachiller en Ciencias por la Unidad Educativa Joaquín Lalama. Actualmente, es estudiante de la carrera de Matemáticas en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Participante en concursos y conferencias sobre proyectos matemáticos, en los que representa a su universidad.

OPTIMIZING AFTER-SALES SERVICES IN THE AUTOMOTIVE MAINTENANCE SECTOR: A LEAN MANUFACTURING AND MRP CASE STUDY IN PERU

PABLO ANDRÉS HARBOE-CHAMAN

Bachiller en Ingeniería Industrial por la Universidad de Lima. Asistente de gestión de activos y formalización en el Grupo Coril, que pertenece al sector financiero. Contribuye en la mejora de procesos en las laborales que le corresponden.

KENT PHILIPPS-BERROSPI

Bachiller en Ingeniería Industrial por la Universidad de Lima. Actualmente, labora como ingeniero consultor en VHR Asesoría y Consultoría, donde asesora en el cumplimiento normativo, desarrollo de planes de manejo ambiental, gestión de proyectos, optimización de procesos industriales con enfoque sostenible y trámites ante entidades regulatorias.

JUAN CARLOS QUIROZ-FLORES

Doctor en Business Management por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Magíster en Administración de Empresas por ESAN Graduate School of Business.

Ingeniero industrial por la Universidad de Lima con certificaciones en *lean six sigma* y *lean manufacturing*. Profesor investigador y coordinador de grados y títulos en la Universidad de Lima, con más de 140 artículos indexados en Scopus y Web of Science. *Full member* de Sigma Xi por su destacada producción científica y miembro de Beta Gamma Sigma por excelencia académica en sus estudios de posgrado. Especialista en *lean supply chain*, mejora de procesos y productividad, y con más de veinte años de experiencia en dirección de operaciones en empresas de producción, servicios y *retail*.

MODELO DE GESTIÓN PARA LA APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE LEAN MANUFACTURING PARA DISMINUIR LAS DEVOLUCIONES DE PEDIDOS ERRADOS EN UNA EMPRESA FARMACÉUTICA

MELINA NADEL CARRILLO QUEZADA

Egresada de la maestría en Dirección de Empresas Industriales y de Servicios por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Especialización en Gerencia de Proyectos bajo el enfoque del PMBOK por la Universidad Nacional de Ingeniería. Ingeniera industrial por la Pontificia Universidad Católica del Perú. Con experiencia e interés en gestión de proyectos, mejora continua, procesos y planeamiento. Actualmente, es coordinadora general de la Gerencia de Administración Tributaria en la Municipalidad de Jesús María.

IMPLEMENTACIÓN DE INDICADORES DE LA MANUFACTURA ESBELTA: EFICIENCIA GLOBAL DE LOS EQUIPOS Y LAS SEIS GRANDES PÉRDIDAS DEL MANTENIMIENTO EN LA EMPRESA PACK-ISI

ERICK URIEL MORALES CRUZ

Doctor en Ciencias por la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Magíster en Ciencias de los Materiales en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo con estancia de investigación en la Universidad de Wollongong, Australia. Ingeniero industrial con énfasis en calidad. Experiencia profesional en seguridad e higiene, calidad y mejora continua, así como ingeniería de procesos en la industria manufacturera, aeroespacial y automotriz. Actualmente, es docente del Área Académica de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

MELINA PÉREZ CASTELÁN

Magíster en Administración por el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey y magíster en Ciencias por la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Ingeniera industrial y de sistemas por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Cuenta con experiencia laboral en sistema de calidad y seguridad y salud en la industria textil, metalmecánica, automotriz y química, así como en desarrollo de proyectos. Actualmente, se desempeña como docente universitario en áreas sobre procesos de mejora continua y sistemas de gestión empresarial.

LIDIA RAMÍREZ QUINTANILLA

Magíster en Educación por la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Ingeniera química por el Instituto Tecnológico de Pachuca (hoy, Tecnológico Nacional de México). Cuenta con experiencia profesional en el área metalmecánica y farmacéutica, y en áreas de control de calidad, producción refrigeración y aire acondicionado. Actualmente, es docente de tiempo completo en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. También cuenta con una experiencia de veinticinco años impartiendo clases de operaciones unitarias, óptica, termodinámica y maquinas térmicas. Además, ha participado en actividades de gestión como coordinadora de programa educativo, coordinadora de docencia y subdirectora administrativa.

SERGIO BLAS RAMÍREZ REYNA

Candidato a doctor en Ciencias en Ingeniería Industrial por la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH). Magíster en Ingeniería Industrial en la UAEH. Es ingeniero industrial por la UAEH. Sus áreas de interés son planeación de instalaciones, mantenimiento, la formulación y evaluación de proyectos. Es profesor investigador de tiempo completo, docente en la licenciatura de ingeniería industrial y es el subjefe administrativo del Área Académica de Ingeniería y Arquitectura de la UAEH.

EVALUACIÓN Y MEJORA DEL MANEJO Y CONTROL DE INVENTARIO EN UNA EMPRESA DE COMERCIALIZACIÓN DE PINTURAS PARA REDUCIR EL DESPERDICIO Y PÉRDIDA DE PRODUCTOS

YURIDIA BELÉN COTA PARDINI

Doctoranda en Innovación y Gestión Educativa en el Centro Educativo de Nayarit siglo XXI. Magíster en Ingeniería Administrativa por el Instituto de Estudios Universitarios, A. C. de Puebla. Ingeniera industrial por el Instituto Tecnológico de los Mochis, Sinaloa. Docente de tiempo completo del Instituto Tecnológico Superior de Guasave. Es presidenta de academia del Programa Educativo de Ingeniería Industrial, auditora del sistema integral de gestión, miembro del cuerpo académico de ingeniería y estrategia empresarial en el Área de Ingeniería y Tecnología de la Red Estatal de Divulgadores de la Ciencia y la Tecnología en Sinaloa en la categoría Divulgadora de Ciencia Asociada, y es socia activa de la Sociedad Ergonomista de México.

MARCOS OCTAVIO OSUNA ARMENTA

Doctor en Educación por la Universidad Contemporánea de las Américas. Magíster en Administración Pública por el Instituto de Administración Pública de Sinaloa. Contador público por la Universidad Autónoma de Sinaloa. Docente del Tecnológico Nacional de México de Guasave, adscrito al Área de Ciencias Industriales. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores y del Sistema Sinaloense de Investigadores y Tecnólogos.

JOSÉ ANTONIO SANDOVAL ACOSTA

Doctor en Ciencias de la Computación por el TecNM/Cenidet. Maestro en Sistemas de Información por la Universidad Autónoma de Chihuahua. Licenciado en Informática del TecNM/ITLM. Cuenta con diez años de experiencia en desarrollo de *software* en JPMorgan Chase y quince años de docencia superior en el TecNM/ITSG. Cuenta con publicaciones científicas recientes en revistas de prestigio con reconocimiento JCR e indizadas.

DANIEL MEDRANO VILLALOBOS

Egresado de la Licenciatura en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Guasave. Actualmente, se desempeña como supervisor de seguridad industrial en SIIE Constructora, empresa especializada en soluciones tecnológicas avanzadas en obra eléctrica, cableado estructurado, fibra óptica y servicios electromecánicos. Ha participado en proyectos de mejora continua, optimización de procesos y control de inventarios en la ciudad de Guasave, Sinaloa. Además, es coautor de dos artículos publicados en revistas indizadas.

EFFECTO DEL SISTEMA BASC Y SU PERCEPCIÓN EN LA MEJORA OPERATIVA DE UNA EMPRESA DE SERVICIOS LOGÍSTICOS

MARA DEL ROSARIO LÓPEZ RODRÍGUEZ

Doctora en Educación por la Universidad Contemporánea de Las Américas, Unidad Sahuayo. Magíster en Administración y Desarrollo de Negocios por el Instituto Tecnológico de Sonora. Licenciada en Administración y Finanzas por la Universidad de Occidente, Unidad Guas. Miembro del Sistema Sinaloense de Investigadores y Tecnólogos, del cuerpo académico en formación ingeniería y estrategia empresarial ITESGUA-05, de la Red de Investigación Latinoamericana en Competitividad Organizacional, y de la Red Internacional de Investigación sobre Comportamiento, Empresa y Turismo.

MARCOS OCTAVIO OSUNA ARMENTA

Doctor en Educación por la Universidad Contemporánea de Las Américas. Magíster en Administración Pública por el Instituto de Administración Pública de Sinaloa. Licenciado en Contaduría Pública por la Universidad Autónoma de Sinaloa. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores y del Sistema Sinaloense de Investigadores y Tecnólogos, líder del Cuerpo Académico en Formación Ingeniería y Estrategia Empresarial ITESGUA-05, miembro de la Red de Investigación Latinoamericana en Competitividad Organizacional.

XÓCHITL PATRICIA FLORES GUTIÉRREZ

Magíster en Logística y Cadena de Suministros, por el Instituto de Estudios Universitarios, A. C. (Puebla). Ingeniero industrial por el Instituto Tecnológico de Culiacán. Miembro activo del Sistema Sinaloense de Investigadores y Tecnólogos, de la Red de Estatal de Divulgadores de la Ciencia y la Tecnología en Sinaloa y de la Red de Investigación en Ergonomía del Noroeste. Integrante del cuerpo académico en formación ingeniería y estrategia empresarial ITESGUA-05. Docente a tiempo completo de la carrera de Ingeniería Industrial en el Tecnológico Nacional de México y en el Instituto Tecnológico Superior de Guasave.

YOHENIA LÓPEZ GARCÍA

Ingeniera en Gestión Empresarial por el Instituto Tecnológico Superior de Guasave. Actualmente, se desempeña en el Área de Control de Calidad en Conservas la Costeña S. A. B.

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO
PARA ASISTENCIA DE LECTURA DE TEXTOS IMPRESOS MEDIANTE VISIÓN
COMPUTACIONAL PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL**

CRISTHIAN KEVIN RAFAEL ROSALES

Estudiante de décimo ciclo de la carrera de Ingeniería Mecatrónica en la Universidad Nacional de Ingeniería.

JOSE ERASMO SALAZAR MINCHAN

Egresado en Ingeniería Mecatrónica en la Universidad Nacional de Ingeniería. Actualmente, se desempeña como practicante profesional en Divemotor.

JORGE ENRIQUE ORTIZ PORRAS

Doctor en Ingeniería Industrial y Gestión de Empresas por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú. Magíster en Administración de Empresas y magíster en Dirección de Operaciones y Logística, ambas por la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Magíster en Docencia Universitaria y Gestión Educativa por la Universidad Tecnológica del Perú. Es ingeniero Mecatrónico por la Universidad Nacional de Ingeniería. Actualmente, se desempeña como docente universitario en la Universidad Nacional de Ingeniería y en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

ESTUDIO DE LA ADSORCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUA MEDIANTE EL USO DEL NANOCOMPÓSITO BASADO EN NANOPARTÍCULAS DE MAGNETITA Y GOMA DE TARA

SILVIA PONCE ÁLVAREZ

Doctora en Ciencias Químicas por la Universidad Autónoma de Madrid. Magíster en Gestión y Auditorías Medioambientales por la Universidad de Piura y magíster en Fisicoquímica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM). Licenciada en Química por la UNMSM. Investigadora y docente de la Universidad de Lima. Su experiencia abarca la preparación de nanomateriales para diversas aplicaciones, en la que se incluyen biopolímeros a partir de desechos agroindustriales. Actualmente, su trabajo se centra en la obtención de films y membranas a partir de nanocelulosa para aplicaciones como embalajes y la remoción de microcontaminantes.

JAVIER QUINO FAVERO

Doctor en Ingeniería y Ciencias Ambientales por la Universidad Nacional Agraria La Molina. Magíster en Microbiología y licenciado en Biología, ambos por la Universidad Peruana Cayetano Heredia. Se ha especializado en el tratamiento de aguas enfocándose en métodos para la remoción de metales pesados como el arsénico. Actualmente, es docente de la Universidad de Lima y dirige la carrera de Ingeniería Ambiental.

JUAN RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ

Doctor en Ciencias con mención en Física y magíster en Ciencias con mención en Física, ambas obtenidas en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). Licenciado en Física por la UNI. Investigador con amplia experiencia en el campo de la química ambiental y la gestión de recursos hídricos. Además, posee una sólida trayectoria en la evaluación de la calidad del agua y la modelización de la dispersión de contaminantes en ecosistemas acuáticos. Actualmente, es investigador y docente en la Universidad Nacional de Ingeniería.

MEDALIT CEVALLOS BARTUREN

Ingeniera Industrial por la Universidad de Lima enfocada en la gestión de proyectos, con énfasis en el análisis de procesos y mejora continua. Cuenta con experiencia en planificar y dirigir auditorías internas, externas y homologaciones. Ha participado en proyectos de desarrollo y de investigación.

ABEL GUTARRA ESPINOZA

Doctor, magíster y licenciado en Física por la Universidad Nacional de Ingeniería. Tiene amplia experiencia en el desarrollo de nuevos materiales para diversas aplicaciones. Docente e investigador de la Universidad de Lima y de la Universidad Nacional de Ingeniería.

CAROLINA BELVER COLDEIRA

Doctora en Química y magíster en Ciencias Químicas, ambas por la Universidad Autónoma de Madrid. Licenciada en Química por la Universidad Autónoma de Madrid. Investigadora centrada en la ciencia de los materiales, con especialización en el desarrollo de materiales avanzados para aplicaciones medioambientales y energéticas. Su trabajo abarca la síntesis y caracterización de nanomateriales, así como la evaluación de su desempeño en procesos de catálisis, adsorción y almacenamiento de energía. Su experiencia incluye la participación en proyectos de investigación relacionados con la producción de hidrógeno verde y la captura de CO₂. Actualmente, es docente de la Universidad Autónoma de Madrid.

JORGE BEDIA MATAMOROS

Doctor en Ingeniería Química por la Universidad de Málaga. Ingeniero industrial por la misma universidad. Investigador con una sólida trayectoria en el campo de la catálisis heterogénea y la ciencia de los materiales. Actualmente, se desempeña como docente e investigador de la Universidad Autónoma de Madrid.

