

# Ciencias e Ingeniería

PARA CIUDADANOS

Revista de investigación científica



Lima - Perú

# Ciencias e Ingeniería



Volumen II-N°4 Abril 2026

# Consejo Editorial

## Director

Dr. Francisco Javier Wong Cabanillas

## Editor, diseño y traducción

Lic. Carlos Alberto Vega Vidal

## Diagramador de texto y asistencia de diseño

Lic. Carlos Alberto Vega Vidal

## Comité Científico

Dra. Elena Rafaela Benavides Rivera  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos.  
Lima-Perú

Dra. Ysabel Zevallos Parave  
Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle.  
Lima-Perú

Dr. Óscar Rafael Tinoco Gómez  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos.  
Lima-Perú

# Índice

**Introducción.....7**

**Implementación de la inteligencia artificial basada en machine learning para la mejora del desempeño de sistemas de tratamiento de aguas residuales .....8**

Walter Jesús Soria Tadeo  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Emily Garro Aponte  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

**Emociones detrás del carrito: exploración fenomenológica en consumidores digitales vinculados a emprendimientos de e-commerce .....26**

Isabel del Rosario Cornejo Grabiell  
Escuela de Educación Superior CERTUS  
Fernando Aarón Chalco Cochealle  
Escuela de Educación Superior CERTUS  
Grecia Leninshenka Acosta Yman  
Escuela de Educación Superior CERTUS  
Giovana Lisbet Espino Herrera  
Escuela de Educación Superior CERTUS  
Sharon Natalie Guerra Angulo  
Escuela de Educación Superior CERTUS  
Samira Sarai Osnayo Quiroz  
Escuela de Educación Superior CERTUS  
Juan Jesús Rayme  
Escuela de Educación Superior CERTUS  
Daniela Nayeli Romero Espinoza  
Escuela de Educación Superior CERTUS  
Vicente Emanuel Villena  
Escuela de Educación Superior CERTUS

**La aplicación de la biorremediación en la contaminación de las aguas residuales del lago Titicaca.....37**

Anjali Greta Asque Huaraca  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Cristopher Jesús Baca Ruiz  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Jhack Leodan Silva Gálvez  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Edyd Franchesca Sosa Palma  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Diego Turpo Quispe,  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

**Uso de los gases de combustión orgánica para la generación de energía en la industria metalúrgica .....46**

Nicolás Alonso Aliaga Escalante  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Adryan Alexis Castro Ramos  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Ricardo Aldo del Pino Orihuela  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Josías Aníbal Huamán Ortiz  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Antonio Valentino Ríos Siles  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

**El rol de la ingeniería química en la economía circular: ¿Permite una simbiosis industrial sostenible? .....54**

Yoselin Estefany Álvarez Cueva  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Julissa Marleni Icho Yacupoma  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

**Inteligencia logística: Transformación de la logística tradicional.....63**

Guillermo Cruz Cunyarache  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Gabriela Aquino Urruchi  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

**Reducción de los tiempos de entrega de suministros mediante la evaluación y redistribución de proveedores en una empresa metalmecánica .....90**

Eliete Mariel Bazán Panana  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Luis Ángel Unocc Fernández  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

**Impacto de la frecuencia de visitas a Amazon, Aliexpress y Temu en las compras de clientes digitales .....112**

Moisés Jardel Pare Mendivil  
Escuela de Educación Superior CERTUS  
Srta. Marilyn Giovanna Ávila Huamán  
Escuela de Educación Superior CERTUS  
Srta. Anghelly Ivania Molleda Villarroel  
Escuela de Educación Superior CERTUS  
Beckham Jopesh Mestanza Benel  
Escuela de Educación Superior CERTUS  
Carlos Alberto Acedo Rugel  
Escuela de Educación Superior CERTUS

**Vivencias de diseñadores UX/UI en formación ante la adaptación digital en startups de e-commerce .....123**

Karla Zharick Otaegui Valenzuela  
Escuela de Educación Superior CERTUS  
Yovel Fernando Quispe  
Escuela de Educación Superior CERTUS  
Alexandra Cuba Aroni  
Escuela de Educación Superior CERTUS  
Christian Edwin Esteban Castillo  
Escuela de Educación Superior CERTUS

**Desinfectantes biodegradables, la actividad física o deportiva y la bioquímica ....134**

Alexis Gabriel Reyes Chochoca  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos.  
Gabriella Alejandra Riveros Miranda  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos.  
Cielo Amaris Vega Silva  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

# Introducción

Empezamos un nuevo volumen y con nuevos retos como revista, que hasta el momento se viene convirtiendo en la nueva ventana de las investigaciones realizadas por profesionales y estudiantes de diferentes ámbitos, desde estudiantes de institutos técnicos, estudiantes universitarios de pregrado y posgrado, hasta investigadores de diferentes áreas de la ciencia e ingeniería, que tratan de dar a conocer sus investigaciones y las realidades que analizan e investigan.

Esta revista nace también para apoyar la investigación en lo que a publicaciones se refiere, de los jóvenes estudiantes técnicos y universitarios, donde luego de haber realizado sus primeros proyectos de investigación, presentan, según los parámetros dados para un artículo científico, sus artículos a revisión, y luego ser revisados y aceptados, son publicados, siendo esta la primera oportunidad para los nóveles investigadores de presentar sus resultados a la academia.

En este número presentamos artículos sobre discusiones acerca de la contaminación hídrica y sus soluciones con las nuevas tecnologías potenciadas por inteligencia artificial; podemos ver también un número importante de artículos sobre un tema de actualidad, nos referimos al comercio electrónico, además de artículos sobre la industria y tecnologías de aprovechamiento energético, finalmente también se presentan artículos sobre la ingeniería química y la economía circular y sobre productos químicos biodegradables.

La revista de investigación científica "Ciencias e Ingeniería" comienza este nuevo volumen con optimismo a pesar del contexto económico-político-social que atraviesa nuestro país, por que gracias a las investigaciones realizadas por los nóveles investigadores se siembra la esperanza de un nuevo futuro, donde ellos seran los ciudadanos que desde la academia logren entender y contribuir con nuestro país y más aún con su comunidad.

Lima, abril 2026

Dr. Francisco Javier Wong Cabanillas  
Director

Lic. Carlos Alberto Vega Vidal  
Editor

# Implementación de la inteligencia artificial basada en machine learning para la mejora del desempeño de sistemas de tratamiento de aguas residuales

Sr. Walter Jesús Soria Tadeo  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Correo electrónico: walter.soria@unmsm.edu.pe

Srta. Emily Garro Aponte  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Correo electrónico: emily.garro@unmsm.edu.pe

**Resumen:** El presente artículo evalúa el papel de la inteligencia artificial en el uso del machine learning (ML) en la optimización continua del rendimiento en sistemas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). En un primer momento, fueron identificados los problemas asociados a la gestión reactiva, caracterizados por los tiempos de espera y por un alto consumo eléctrico, como el proceso de aireación (30-76% del total del costo de energía). En relación con el análisis documental, es posible observar que la implementación del ML permite disminuir la incertidumbre en lo que respecta a los factores biológicos, ya que permite detectar con precisión total (ROC-AUC 1.0) problemas críticos y alertar la posibilidad de fallos de equipo con 2.5 horas de antelación. Al automatizar la gestión a través de la IA, la normativa ambiental se cumple, logrando optimizar la gestión de recursos mediante la reducción de consumo energético en un 49%, obteniendo así ahorros económicos en torno a los \$180,000 anuales. Otro de los beneficios de implementación fue la adaptación a la variabilidad del influente, permitiendo ahorrar el 90% en casos de desbordamientos. Por último, con la utilización de sensores virtuales, es posible predecir los parámetros de calidad con un  $0.96 R^2$ , considerando solamente 10 variables cruciales. Se concluye que el ML, en el marco de la Industria 4.0, permite la transición hacia una gestión predictiva que reemplaza los análisis tradicionales lentos, mejorando drásticamente la resiliencia operativa, la sostenibilidad financiera y el control eficiente de las plantas de tratamiento.

**Palabras clave:** Tratamiento de aguas / Machine learning / IA / Optimización / Gestión predictiva

**Abstract:** This article evaluates the role of artificial intelligence (AI) through machine learning (ML) in the continuous performance optimization of Wastewater Treatment Plants (WWTPs). Initially, issues associated with reactive management were identified, characterized by response delays and high electricity consumption, particularly in the aeration process, which accounts for 30–76% of total energy costs. Based on the literature review, the implementation of ML reduces uncertainty regarding biological factors by accurately detecting critical issues (ROC-AUC 1.0) and providing alerts for potential equipment failures 2.5 hours in advance. By automating management via AI, regulatory compliance is ensured while optimizing resource allocation, resulting in a 49% reduction in energy consumption and annual economic savings of approximately \$180,000.

An additional benefit of this implementation is the adaptation to influent variability, which enables a 90% savings in overflow scenarios. Furthermore, through the use of soft sensors (virtual sensors), it is possible to predict quality parameters with an  $R^2$  of 0.96 using only ten crucial variables. The study concludes that ML, within the framework of Industry 4.0, facilitates the transition toward predictive management, replacing slow traditional analytical methods and drastically improving operational resilience, financial sustainability, and efficient plant control.

**Key words:** Wastewater treatment / Machine learning / AI / Optimization / Predictive management

**Résumé:** Cet article évalue le rôle de l'intelligence artificielle à travers l'utilisation du machine learning (ML) dans l'optimisation continue de la performance des stations d'épuration des eaux usées (STEP). Dans un premier temps, les problèmes associés à la gestion réactive ont été identifiés, caractérisés par des délais d'attente et une consommation électrique élevée, notamment lors du processus d'aération (représentant 30 à 76 % du coût énergétique total). En ce qui concerne l'analyse documentaire, il est possible d'observer que la mise en œuvre du ML permet de réduire l'incertitude liée aux facteurs biologiques, car elle permet de détecter avec une précision totale (ROC-AUC 1,0) des problèmes critiques et d'alerter sur d'éventuelles défaillances d'équipement 2,5 heures à l'avance. En automatisant la gestion grâce à l'IA, la conformité aux normes environnementales est assurée, tout en optimisant la gestion des ressources par une réduction de la consommation d'énergie de 49 %, générant ainsi des économies financières de l'ordre de 180 000 \$ par an. Un autre avantage de cette mise en œuvre est l'adaptation à la variabilité de l'affluent, permettant d'économiser 90 % en cas de débordements. Enfin, grâce à l'utilisation de capteurs virtuels (soft sensors), il est possible de prédire les paramètres de qualité avec un  $R^2$  de 0,96, en ne considérant que 10 variables cruciales. En conclusion, le ML, dans le cadre de l'Industrie 4.0, permet la transition vers une gestion prédictive qui remplace les analyses traditionnelles lentes, améliorant considérablement la résilience opérationnelle, la durabilité financière et le contrôle efficace des usines de traitement.

**Mots-clés:** Traitement des eaux usées / Machine learning / IA / Optimisation / Gestion prédictive

## 1. INTRODUCCION

El machine learning (ML) se define como una de las ramas de la inteligencia artificial (IA) que resuelve problemas mediante la identificación, interpretación y procesamiento de datos; para ello es necesario que las máquinas aprendan de datos reales proporcionados, para ofrecer un método automatizado que pueda reconocer patrones (Regil-Vargas y Sanabria, 2024). Por el momento, la aplicación industrial del ML se concentra principalmente en grandes empresas internacionales. La adopción de esta tecnología se enfrenta al rechazo debido a la preocupación de que pondrá en riesgo a muchos puestos de trabajo. No obstante, diversos estudios señalan que su uso no busca reemplazar al profesional, sino automatizar y ahorrar tiempo en tareas redundantes y repe-

titivas, liberando a los investigadores de prácticas tradicionales que resultan costosas, lentas y propensas a errores (Bertolini et al., 2021).

En contextos donde la demanda del tratamiento eficiente y monitoreo continuo del agua es cada vez mayor, como ocurre en las ciudades en crecimiento y en sectores industriales, resulta fundamental analizar el impacto del uso de ML y los beneficios que conlleva su implementación, además de la optimización del proceso y supervisión en plantas. Durante los últimos años, se evidenció un crecimiento significativo del interés científico en este campo, alcanzando su mayor producción en 2023. Asimismo, se demostró que el ML se ha consolidado como una de las principales líneas de estudio para optimizar la gestión de contaminantes y promover soluciones sostenibles en sistemas de tratamiento de aguas residuales (Alaloul et al., 2024).

A causa de esta relación, surge la siguiente interrogante que nos lleva a realizar nuestro análisis: ¿Cómo influye la implementación de modelos de ML en la mejora continua de sistemas de tratamiento de aguas residuales? Teniendo como tesis de trabajo la siguiente: La implementación de la IA basada en ML influye positivamente en la mejora del desempeño, ya que aporta la detección temprana de anomalías o fallas, versatilidad en el proceso, reducción en tiempo de obtención de datos y la transición hacia la automatización en sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Asimismo, tenemos como finalidad concientizar a los profesionales y estudiantes de ingeniería sobre la viabilidad y los beneficios de integrar herramientas de IA en sistemas de tratamiento de aguas. A continuación, desarrollaremos los siguientes temas: Reducción de la incertidumbre operativa, anticipación de incumplimientos normativos, mantenimiento predictivo, adaptabilidad ante variabilidad del influente, optimización energética y reducción de costos operativos, robustez operativa, monitorización de parámetros de calidad en tiempo real, ejecución de acciones correctivas instantáneas, análisis inmediato de resultados y monitoreo de parámetros de manera virtual y económica.

## **2. ARGUMENTO 1**

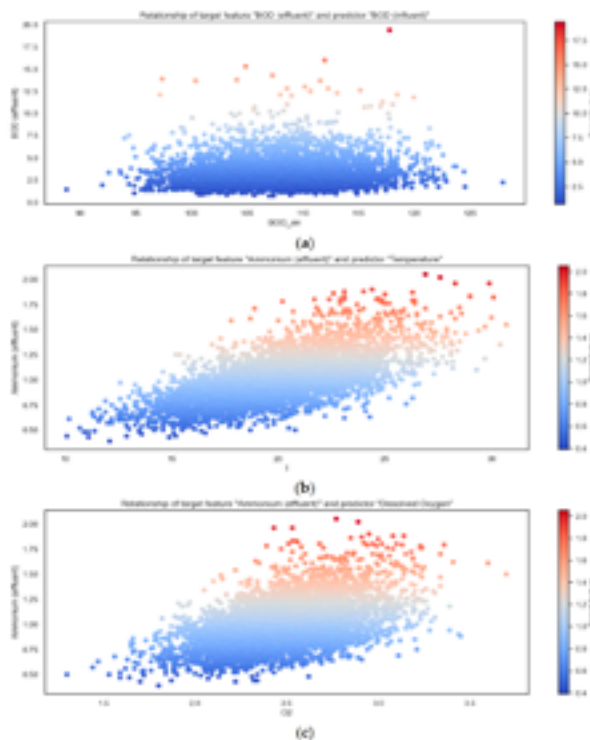
### **La detección temprana de anomalías o fallas**

Entonces, para entender cómo la implementación de la IA genera mejoras, es fundamental analizar la capacidad de resolver los problemas críticos desde el inicio del proceso y el impacto a la estabilidad que genera al sistema: la detección temprana de anomalías y fallas. Lo que permite reducir drásticamente la incertidumbre de ciertos procesos biológicos y anticipar posibles incumplimientos en la normativa ambiental

La implementación de la IA basada en ML influye positivamente en la mejora del desempeño de las PTAR, ya que aporta la detección temprana de anomalías o fallas, Uno de los problemas que se suelen presentar en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) es el bulking, el cual consiste en que los lodos pierden la capacidad de sedimentar. Al tratarse de un fenómeno biológico, es muy difícil de predecir cuándo

ocurrirá. La tecnología basada en algoritmos de gradient boosting (librería CatBoost), demostró ser la estrategia más eficaz. Superando a los modelos estadísticos clásicos, este enfoque de aprendizaje automático procesó la complejidad de los datos operativos de la planta de tratamiento, logrando predecir la calidad del efluente con un error mínimo (SMAPE 9.1%) y detectar anomalías biológicas críticas (bulking) con exactitud perfecta (ROC-AUC 1.0). (Gulshin y Kuzina, 2024). El uso de aprendizaje automático avanzado permite analizar grandes volúmenes de datos complejos de la planta para anticipar problemas graves en el proceso biológico y medir la calidad del agua con una precisión que los métodos tradicionales no alcanzan. El hallazgo mencionado es fundamental porque elimina la "caja negra" de los procesos biológicos fundamentados en el bulking. Esto transforma la incertidumbre operativa en una variable controlable, permitiendo una gestión basada en datos y no suposiciones. Como se observa en la figura 1, este análisis no se limita a una sola variable, sino que evalúa las interacciones críticas del sistema, tales como la correlación entre la carga orgánica de entrada y salida, así como el impacto directo de la temperatura y el oxígeno disuelto sobre la remoción de nutrientes. Se recomienda la adopción de librerías de gradient boosting en plantas que sufren de inestabilidad biológica frecuente para mitigar paradas no programadas y optimizar la toma de decisiones.

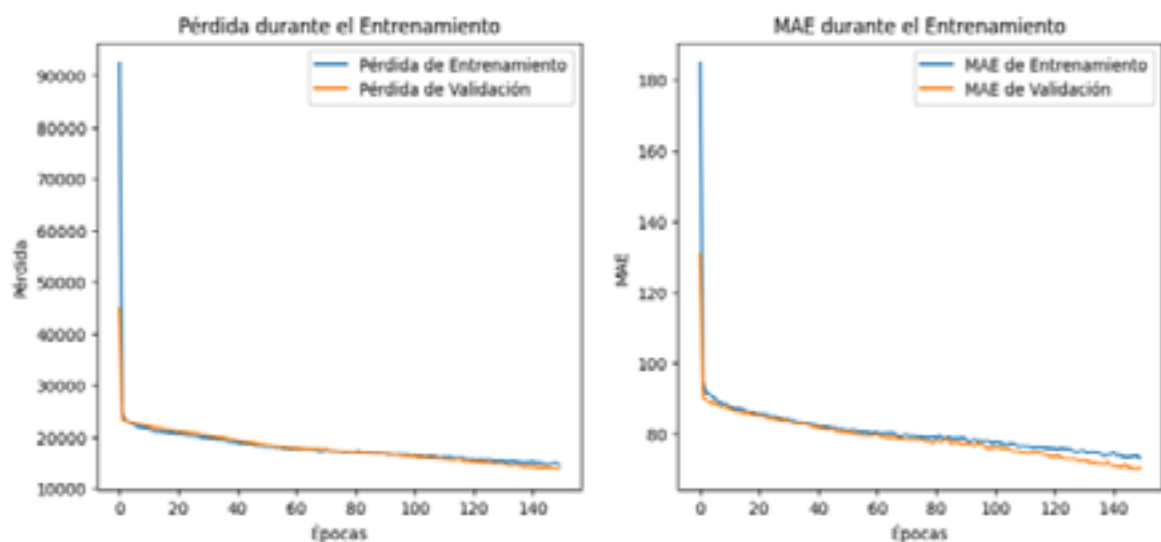
**Figura N° 1:** Diagrama de dispersión de variables



**Fuente:** La figura presenta diagramas de dispersión que evalúan la dependencia lineal entre variables predictoras y objetivos de calidad del efluente: (a) correlación entre la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de entrada y salida; (b) relación entre la temperatura y la concentración de amonio en el efluente; y (c) relación entre el oxígeno disuelto y el amonio en el efluente. Adaptado de "Machine learning methods for the prediction of wastewater treatment efficiency and anomaly classification with Lack of Historical Data" ( p. 14) por I. Gulshin y O. Kuzina, 2024, Applied sciences, 15.

Uno de los desafíos más críticos en la gestión de aguas residuales es la dosificación precisa de reactivos, donde la variabilidad del caudal y la carga contaminante suelen superar la capacidad de respuesta manual. Frente a esta problemática, la automatización inteligente surge como una solución para estandarizar el tratamiento. Se ha desarrollado un algoritmo de IA que moderniza el proceso de dosificación química en aguas residuales, logrando una precisión superior al 90% y una convergencia adecuada en su modelado (Marin, 2024). La implementación del ML actualiza métodos tradicionales mejorando su exactitud y eficacia. La relevancia de esta precisión radica en su impacto directo sobre la conformidad legal y sostenibilidad ambiental. Al modernizar la dosificación, se garantiza que el tratamiento químico sea constante y adecuado a la carga contaminante real, eliminando la subjetividad humana entrenando a la IA (figura 2), logrando patrones de dosificación adecuados sin derroche alguno

**Figura N° 2:** Entrenamiento y validación del modelo propuesto usando datos de entrenamiento y reales

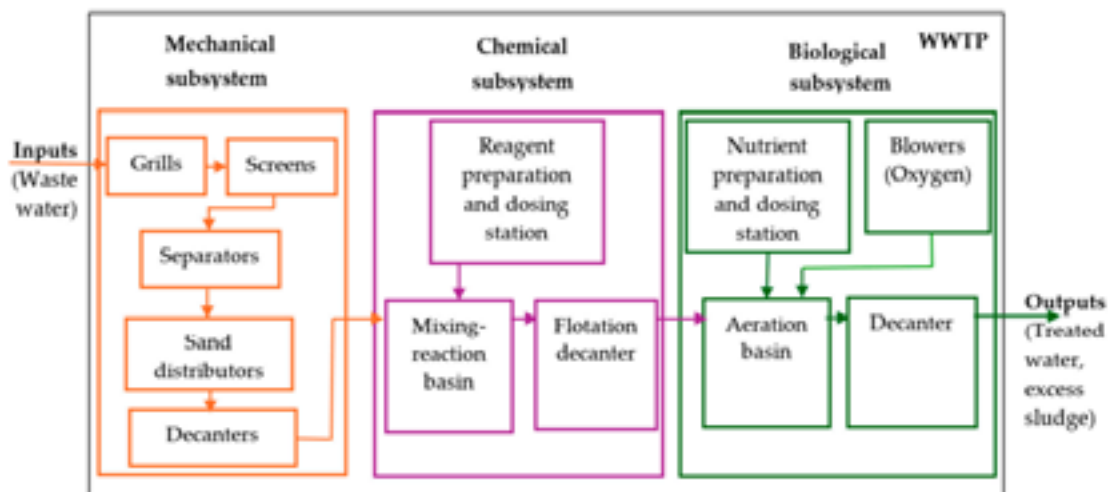


**Fuente:** Se observa la estabilidad del aprendizaje del modelo; el descenso constante en las curvas de pérdida (a) y la estabilización del Error Absoluto Medio (MAE) (b) demuestran que el algoritmo presenta una convergencia adecuada. adaptado de prototipo de modelo de inteligencia artificial para mejorar la dosificación química en el proceso de tratamiento de aguas residuales de la industria textil (p. 30), por Marin, J., 2024, Universidad EAN

Esto hace que la regulación ambiental tome relevancia, utilizando a la IA como un organismo de gestión preventiva. La integración de tecnologías basadas en ML mejora las capacidades de predicción de las PTAR, destacando el cumplimiento de la normativa ambiental, evitando así las sanciones legales y económicas asociadas a la contaminación por descargas fuera de norma (Zamfir et al., 2025). El uso de herramientas de aprendizaje automático permite anticipar cómo será la calidad del agua a la salida de la planta, asegurando su calidad frente al ambiente. Esto funciona como un cambio de paradigma en la administración de la gestión del proceso (figura 3) dentro de las plantas de tratamiento, en donde la inversión tecnológica no solo se justifica en aumento

de eficiencia. Esta se ve tangiblemente en la evasión de sanciones por incumplimiento normativo. Se sugiere utilizar estos modelos predictivos como "auditores virtuales" en tiempo real, configurando alertas automáticas que detengan la descarga si la predicción indica una posible violación normativa en las próximas horas.

**Figura N° 3:** Diagrama de bloques del proceso de tratamiento de aguas residuales



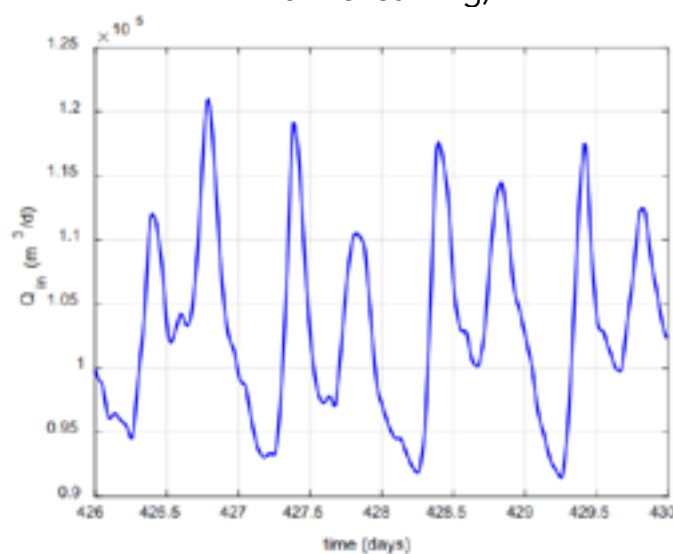
**Fuente:** Adaptado de "Application of machine learning models in optimizing wastewater treatment processes: A review" (p.5), por F. Zamfir, M. Carbureanu & S. Mihalache, 2025, Applied sciences, 15(15).

Llamuca y Bayas (2025) desarrollaron un modelo predictivo basado en técnicas de ML como el Random Forest que, con una precisión alta, automatiza el monitoreo de parámetros críticos según la norma NTE INEN 1108, lo que facilita la anticipación de desviaciones en la calidad del agua y minimiza el riesgo de incumplimiento normativo derivado de errores humanos. Estos autores validaron que algoritmos robustos como el Random Forest pueden vigilar automáticamente que el agua cumpla con estándares específicos, reduciendo drásticamente la posibilidad de fallos causados por equivocaciones. El uso específico de Random Forest en este contexto demuestra que los modelos de ensamble son ideales para manejar las exigencias regulatorias, ya que ofrecen una estabilidad superior frente a datos ruidosos. Al eliminar la dependencia exclusiva del muestreo manual, se cierra la brecha de incertidumbre entre la toma de muestra y el resultado de laboratorio. Aconsejando así la integración de modelos tipo RF integrados a sistemas SCADA para la generación de reportes automatizados y fiables

Tradicionalmente, el mantenimiento en plantas industriales se ha basado en calendarios fijos (preventivo) o en la reparación tras la falla (correctivo), lo que conlleva ineficiencias y paradas no programadas. La integración de una IA permite crear estrategias más dinámicas que optimizan la disponibilidad de la planta. Gracias a la integración de algoritmos de ML para el análisis de datos de sensores, paradas históricas y resultados de inspección, se lograron elaborar estrategias de mantenimiento dinámicas, lo que contribuye a garantizar la continuidad del proceso monitoreado (Tapia et al.,

2024). El aprendizaje automático, al cruzar datos de sensores actuales e historiales de averías, permite reemplazar el mantenimiento rígido por fecha, por intervenciones flexibles basadas en el estado real de la maquinaria. Al tener un mantenimiento dinámico, se eliminan las paradas de planta innecesarias que limitan la producción, asegurando que la planta tenga una operación ininterrumpida, objetivo indispensable porque el tratamiento biológico (figura 3) es algo que no se puede detener en una PTAR. Siendo de vital importancia centralizar los registros de bitácoras de mantenimiento antiguas y digitalizarlos; para entrenar a los modelos de IA para que identifiquen patrones invisibles al ojo humano. Para sistemas de alta criticidad, donde una falla mecánica puede detener todo el proceso de tratamiento, la anticipación temporal se convierte en el recurso más valioso. Frente a esto, un estudio aplicado a sistemas de potencia hidráulica, demostraron que la integración de criterios estadísticos robustos (IQR) con modelos de ML multidimensionales (como One Class SVM y redes neuronales LSTM/CNN) permite identificar desviaciones operativas con una antelación de 2.5 horas antes de que ocurra la falla. Esta ventana de predicción no solo reduce las falsas alarmas en comparación con métodos como Isolation Forest (Fic et al., 2023). La combinación de redes neuronales profundas (como LSTM y CNN) con estadística avanzada permite detectar anomalías sutiles en el funcionamiento de equipos críticos con dos horas y media de anticipación, superando en precisión a los métodos de detección de anomalías convencionales. Esta tecnología destaca por ofrecer tiempo "extra" en un margen de 2.5 horas. Esto permite tomar acciones antes de que algún fallo ocurra, haciendo que se pueda trabajar de una manera más controlada y planificada, transformando una emergencia potencial en una tarea de rutina. Como se ilustra en la Figura 4, para lograr esto es necesaria una arquitectura robusta en la nube que procese continuamente el flujo de datos históricos y en tiempo real

**Figura N° 4:** Ecosistema en la nube para el despliegue de algoritmos con historial (machine learning)



**Fuente:** La figura esquematiza cómo los datos históricos y de sensores se procesan en la nube para alimentar los algoritmos de predicción. Adaptado de "Anomaly detection for hydraulic power units—A case study" (p. 13), por P. Fic, A. Czornik & P. Rosikowski, 2023, Future internet, 15(6).

Se recomienda implementar arquitecturas de redes neuronales recurrentes (LSTM) en equipos rotativos clave (sopladores y bombas) para la detección temprana de patrones anómalos de vibración o consumo.

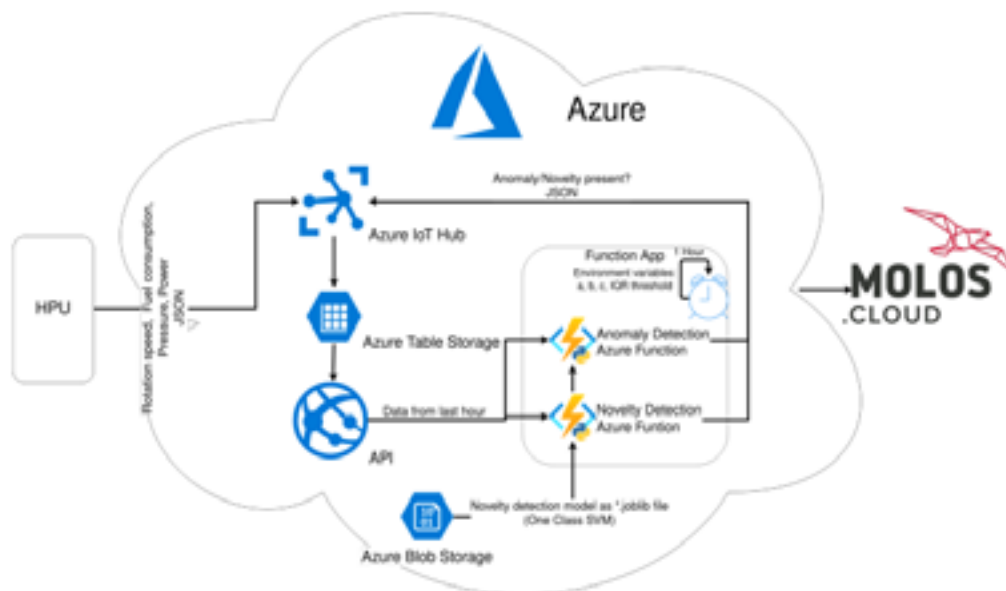
### 3. Argumento 2

#### Optimización adaptativa

Una vez asegurada la estabilidad del sistema y el mantenimiento predictivo de equipos, el siguiente desafío operativo es la respuesta a amenazas externas. Aquí la IA también juega un papel fundamental, aportando la optimización adaptativa, lo que permite no depender de un flujo de entrada constante. Sino que se adapta a la variedad del influente, optimizando recursos eficientemente y sin tener una librería extensa de datos dotándola de robustez operativa

En sistemas reales el caudal de entrada o influente para cualquier proceso dentro de una planta de tratamiento de aguas residuales no siempre será la misma, dándole complejidad a la tarea de adecuar los parámetros para lograr el tratamiento. En un estudio aplicado al proceso de fangos activados, el influente presentó una variación brusca en el caudal y contaminación (figura 5), provocando perturbaciones constantes a una PTAR. Haciendo imprescindible la tarea de que el sistema de control se logre adaptar a estas condiciones para mantener la calidad del efluente deseada (Sánchez et al., 2024).

**Figura N° 5:** Caudal en los reactores del proceso de fangos activados



**Fuente:** Adaptado de "Influencia de la temperatura y las acciones de control en las reacciones biológicas del proceso de fangos activados" (p. 3), por L. Sánchez, 2024, Jornadas de Automática, (45).

Los autores señalan que los picos repentinos de volumen de influente (figura 5) desestabilizan continuamente el tratamiento biológico (fangos activados). Por lo tanto, es una necesidad absoluta contar con un sistema de control que pueda modificar su propio funcionamiento sobre la marcha para asegurar que el agua tratada siga cumpliendo los estándares. Esta observación es imprescindible debido a que ilustra cómo la variabilidad del influente actúa como un evento desestabilizante para la biomasa de la planta, generando percances. Un sistema de control tradicional, calibrado para un escenario promedio, colapsa ante estas variaciones bruscas. La adaptabilidad algorítmica se convierte entonces no en una simple mejora de eficiencia, sino en un requisito operativo crítico para absorber estos impactos sin sacrificar la calidad del efluente final.

Frente a ello hay algunas alternativas que están emergiendo como AquaFlowNet que está marcando un avance significativo en la gestión inteligente de sistemas de aguas residuales al introducir el ML en las operaciones de control de flujo dinámico. El agente RL-DFC se adapta continuamente a las condiciones hidráulicas entrantes, lo que permite refinar sus decisiones con cada nuevo estado ambiental y generar respuestas cada vez más óptimas a lo largo del tiempo logrando así una reducción del 52% en el volumen total de desbordamiento, hasta un 90% de reducción en los eventos de desbordamiento y una mejora del 35-40% en la atenuación del flujo máximo (Alluhaidan et al., 2025). El estudio introduce el agente (RL-DFC) el cual utilizando el ML aprende dinámicamente de la base de datos brindada. Logrando así adaptarse a las fluctuaciones de influente de manera rápida y precisa, reduciendo casi en su totalidad la frecuencia de los desbordes y suavizar significativamente los picos del caudal, mejorando su respuesta con la experiencia acumulada. Lo revolucionario de este enfoque es el cambio de una optimización reactiva a una evolutiva. La capacidad de la mejora en la toma de decisiones implica que el sistema no solo resiste la variabilidad, sino que la utiliza para entrenarse y volverse más eficiente. Es recomendable lograr una implementación del RL en zonas urbanas vulnerables a lluvias torrenciales, para garantizar una amortiguación autónoma de las variaciones presentes por fenómenos naturales.

Las PTAR son infraestructuras con un consumo energético masivo, donde el gasto incesante en electricidad y reactivos químicos compromete la viabilidad financiera. Aunque la inversión inicial puede ser considerable, la implementación de herramientas inteligentes como un modelo de regresión basado en ML, puede generar ahorros sustanciales en los costos operativos durante la vida útil de la instalación. Entre los beneficios sustanciales, estas estrategias de control avanzado mejoran el rendimiento de las PTAR y reducen el consumo de recursos al optimizar el uso de energía (un 49% menos en comparación al uso tradicional) y productos químicos" (Cairone et al., 2024). La modernización de plantas con IA, pese a su alto coste inicial, demuestra ser rentable a largo plazo. Los modelos de ML optimizan el consumo de energía y químicos, reduciendo drásticamente los gastos operativos diarios. Con esto se deja en claro que la implementación de tecnologías modernas en las PTAR deja de verse como gasto innecesario y se convierte en una estrategia financiera a largo plazo. Tradicionalmente, las plantas operan con márgenes de seguridad amplios, lo que resulta en un gasto muy grande. Al delegar el control a herramientas inteligentes, se elimina este margen de error humano

y exceso de precaución, garantizando la sostenibilidad económica de la infraestructura a largo plazo sin sacrificar la calidad del tratamiento.

Adentrándonos en el proceso de tratamiento de aguas residuales la etapa de mayor consumo energético es la aireación biológica dada que es altamente no lineal. La aireación representa entre el 30% - 76% del consumo energético total. El modelo LSTM pronosticó eficazmente la dinámica del oxígeno disuelto (OD), lo que permitió al sistema ajustar la aireación de forma proactiva. La estrategia de control redujo el consumo de electricidad por unidad de influente (kWh/m<sup>3</sup>) y por unidad de DQO eliminada (kWh/ton-DQO). Estas mejoras condujeron a una reducción estimada de los gastos operativos (OPEX) anuales de \$180,000 (Xiong et al., 2025). Los investigadores comprobaron en una planta a escala real que las redes neuronales (LSTM) aprenden a predecir hacia dónde se moverán los niveles de oxígeno antes de que ocurra el cambio. Esta capacidad de inyectar el aire exacto en el momento preciso logró una estabilidad biológica superior y erradicó el desperdicio eléctrico, generando un ahorro comprobado de 180,000 dólares en un solo año. La optimización que genera el ML a la aireación se centra en predecir en lugar de corregir. En modelos tradicionales se inyecta aire de más por precaución o reacción tardía, desperdiciando gigavatios de energía. Al lograr una red neuronal suficientemente capaz de modelar la dinámica del oxígeno proactivamente se logró un ahorro masivo de dinero, manteniendo los equipos funcionando de manera ininterrumpida gracias a la eficiencia termodinámica lograda. Por lo tanto es altamente recomendable reemplazar progresivamente los bucles de control PID convencionales por arquitecturas basadas en ML predictivo (como LSTM-Fuzzy)

En un entorno real de funcionamiento, los sensores pueden fallar y las señales se ensucian. Un sistema de control robusto no es aquel que use todos los datos disponibles, sino aquel que sabe funcionar con el mínimo necesario, ignorando el ruido y tolerando la pérdida de variables no críticas. En un estudio, los valores atípicos se mantuvieron en el conjunto de datos, y se demostró que al centrarse en las variables más importantes, los modelos pueden ofrecer una alta precisión predictiva, a tal grado que solo 10 variables de entrada lograron una precisión tan alta como la del conjunto de datos completo (Nasir & Li, 2024). Los modelos de ML tienen la capacidad intrínseca de procesar datos inestables y aprender de los valores atípicos (ruido) sin desestabilizarse. Al aplicar técnicas de selección algorítmica, el ML filtra la información irrelevante, logrando predecir el comportamiento de la planta con exactitud utilizando apenas una pequeña fracción de todos los sensores disponibles. La vulnerabilidad más grande de los sistemas de automatización clásicos es que, si un sensor falla o envía lecturas erráticas (ruido), el sistema completo puede arrojar errores. Sin embargo, al comprobarse que los algoritmos de ML mantienen su máxima precisión utilizando un grupo reducido de variables esenciales (como 10 sensores en lugar de docenas), se demuestra que se crea un escudo de "tolerancia": el sistema sobrevive a la pérdida de datos periféricos porque el modelo matemático compensa el ruido entendiendo las dependencias no lineales de las variables más fuertes. Se aconseja emplear modelos de aprendizaje por conjuntos, como Random Forest (RF), durante la fase de auditoría de datos, ya que estos algoritmos manejan eficazmente la multicolinealidad, permitiendo identificar la

cantidad mínima de sensores necesarios para operar la planta de forma segura ante fallas de instrumentación.

La mayor barrera para implementar IA en plantas de tratamiento convencionales es la creencia de que se requieren sensores IoT de alta frecuencia costosos. En la realidad operativa, muchas instalaciones solo cuentan con registros históricos espaciados, como análisis de laboratorio semanales, lo que suele paralizar los proyectos de modernización algorítmica. Los hallazgos revelan que el rendimiento del modelo es altamente sensible a los cambios en las distribuciones de datos a lo largo del tiempo. Sin embargo, los modelos basados en árboles (Random Forest (RF), Extra Trees (ET) y XGBoost (XGB)) exhibieron una robustez superior al manejar datos de muestreo continuo de baja frecuencia (Khoshvaght et al., 2025). Se logró demostrar que, en escenarios de escasez severa de información (donde los datos no se toman cada minuto, sino cada semana), los algoritmos basados en árboles logran funcionar con éxito. A diferencia de las redes neuronales complejas que "mueren de hambre" sin grandes volúmenes de datos, estos modelos basados en árboles mantuvieron su capacidad predictiva utilizando únicamente muestreos semanales dispersos. Esto es de especial interés para romper el esquema del "Big Data" el cual no es necesario tener antes de modernizar una planta. Una instalación que cuenta con datos semanales de laboratorio puede lograr entrenar una IA funcional. En base a los avances tecnológicos de hoy en día, se debe optar por implementar modelos de Random Forest o XGBoost, ya que son matemáticamente los más aptos para generar valor operativo inmediato a partir de conjuntos de datos pequeños y de baja frecuencia.

#### **4. Argumento 3**

##### **La reducción de tiempo de espera de resultados**

Sin embargo, la eficiencia de esta robustez operativa y optimización de recursos depende exclusivamente de la velocidad de reacción del sistema. Por ello, otra de las bondades del ML es la reducción del tiempo de espera en la obtención de resultados, lo que permite la monitorización de parámetros de calidad en tiempo real, ejecutar acciones correctivas instantáneas y el análisis inmediato de resultados

La optimización de procesos mediante aprendizaje automatizado no solo resulta beneficioso en la eficiencia de una empresa, también fija los límites de seguridad de una planta. De acuerdo con la investigación de Hassan (2025), la integración de modelos predictivos permite que los operadores identifiquen con precisión el nivel óptimo de carga orgánica que el sistema puede soportar, lo cual se traduce en una mejora sustancial en la toma de decisiones y un mantenimiento estratégico más eficaz. En términos sencillos, el uso de ML actúa como un "copiloto inteligente" que avisa exactamente hasta qué punto se puede forzar la maquinaria sin que el agua salga sucia o el sistema se rompa. En tanto, el estudio demostró que el sistema funciona de manera ideal incluso cuando recibe un 30% más de suciedad de lo normal; sin embargo, al superar ese límite, la tecnología predice de inmediato que la calidad del agua fallará. Esta capacidad de anticipación es revolucionaria, pues permite que cualquier gestor de una planta, sin

importar las variaciones del entorno, pueda mantener el cumplimiento de las normas ambientales y evitar daños mecánicos costosos antes de que ocurran.

Bair et al. (2023), en su investigación sobre el desarrollo de sensores blandos basados en algoritmos de ML para predecir la calidad del agua en PTARs, demostraron la alta capacidad de predicción de parámetros críticos como la demanda química de oxígeno (COD) y los sólidos suspendidos totales (TSS) después de aplicar modelos de regresión. Al aplicar el algoritmo de Support Vector Regression (SVR), los autores obtuvieron un error cuadrático medio (RMSE) de 270 mg/L en la predicción de COD y coeficientes de determinación ( $R^2$ ) de hasta 0.96, esto evidencia una alta correlación entre los valores predichos y los datos reales. Esto nos indica que los modelos de aprendizaje automático pueden predecir parámetros críticos con suficiente precisión para apoyar o complementar la toma de decisiones operativas en tiempo real. Si bien es cierto, el ML no busca reemplazar completamente el análisis de datos en el laboratorio, actúa como herramienta para complementar y optimizar el monitoreo, reduciendo la frecuencia de análisis al obtener resultados en segundos o minutos y mejorar la eficiencia operativa.

Uno de los mayores beneficios del ML es la capacidad de respuesta rápida frente a cambios repentinos en el entorno. Barbu et al. (2025) en su estudio sobre el comportamiento de los contaminantes en efluentes de una planta de tratamiento de aguas en Suecia compararon tres modelos de ML basados en árboles (Random Forest, XGBoost y LightGBM) y tres arquitecturas de redes neuronales (LSTM, GRU y Transformer) (véase la tabla 1) con lo cual destacan que la red GRU demuestra un rendimiento robusto, adaptándose rápidamente a los aumentos repentinos y siguiendo de cerca las tendencias del efluente tanto en las fases de pico como de estabilización. Esto significa que hoy en día la IA captura información al instante y no pierde de vista a las variaciones repentinas en el flujo y la carga de un contaminante ante emergencias, superando a los métodos tradicionales que tardarían en detectar cambios bruscos en el proceso. Además, permiten que los operadores estén informados de que pasa con la calidad del agua sin la necesidad de esperar análisis manuales lentos.

**Tabla N° 1:** Desempeño y características de los métodos de aprendizaje supervisado (machine learning)

Modelo	Interpretabilidad	Rendimiento	Complejidad computacional	Capacidad en Tiempo Real	Requerimiento de datos
Random Forest <sup>a b</sup>	Alta Transparente mediante importancia de características	Alta Estándar base con R <sup>2</sup> excepcional	Moderada Diseño eficiente y masivamente paralelizable	Muy alta Inferencia instantánea altamente escalable.	Baja - Moderada Tolerante con datos ruidosos o incompletos
XGBoost <sup>a b</sup>	Moderada - Alta Puntuaciones difuminadas por naturaleza secuencial	Muy Alta Domina cinéticas no lineales complejas	Moderada - Alta Entrenamiento secuencial optimizado matemáticamente	Alta Reacción rápida en tiempos críticos	Moderada Requiere esquemas de selección superiores.
LightGBM <sup>a b</sup>	Moderada - Alta Identifica parámetros que impulsan reacciones.	Muy Alta Desempeño excepcional registrando MAE bajos.	Baja - Moderada Arquitectura liviana por crecimiento asimétrico.	Muy Alta Inferencia ultrarrápida para vectores masivos	Alta Eficiente procesando bases de datos masivas
GRU <sup>a c d</sup>	Baja Difícil extraer conclusiones, "Caja Negra"	Alta Aprende secuencias no lineales profundas.	Moderada Menor latencia utilizando dos compuertas	Moderada - Alta Ideal para ecosistemas Edge computing	Alta Requiere series temporales escrupulosamente tabuladas.
LSTM <sup>a b c d</sup>	Muy Baja Opacidad analítica estructural severa.	Muy Alta Domina en horizontes causales largos.	Alta - Muy Alta Entrenamiento extraordinariamente e costoso por compuertas.	Moderada Inferencia de secuencias largas consume CPU.	Muy Alta Requiere amplias muestras históricas perfectas.
Transformer <sup>a c</sup>	Moderada Parcialmente legible mediante mapas de atención	Muy Alta Puntuaciones récord procesando paralelamente	Muy Alta Demanda recursos computacionales drásticos.	Moderada - Alta Ralentizada por costos de entrenamiento	Muy Alta Necesita historiales puros y masivos de datos.

**Fuente:** En esta tabla se compara el desempeño, características y requerimiento de los modelos mencionados en Voipan, Voipan & Barbu (2025). a Zamfir, Carbureanu & Mihalache (2025, p. 3 - 35). b Dikmen et al. (2025, p. 1 - 10). c Ramya, Srinath & Tuppada (2025, p. 2 - 13). d Oliveira et al. (2024, p. 64 - 73)

El implementar modelos predictivos de aprendizaje automático permite que el personal de una planta obtenga información anticipada para tomar decisiones. Frente a esto, Guo et al. (2025) señalan que el personal de operaciones puede ajustar rápidamente los parámetros de operación gracias a la rápida predicción de resultados, estos incluyen la dosificación de la fuente de carbono y la tasa de aireación, en respuesta de los cambios repentinos de las condiciones de trabajo. Esto confirma que el ML no solo entrega datos, sino que elimina el tiempo de espera crítico de los métodos tradicionales; al conocer el estado futuro del agua, los ingenieros pueden ejecutar acciones correc-

tivas instantáneas en procesos clave como la aireación, garantizando que el sistema se adapte al cambio antes de que la calidad del efluente se vea comprometida.

Szczerska et al. (2025) destacan que la integración de sensores avanzados con modelos de aprendizaje automático no solo optimiza la vigilancia, sino que permite actuar de manera rápida antes de que un problema se propague. Según los autores, gracias al monitoreo continuo in situ de aguas residuales, se activa una vigilancia epidemiológica constante y de respuesta rápida al detectar señales inusuales. Esto permite a las autoridades de salud pública la inmediata toma de decisiones, producto de reemplazar análisis lentos propios de métodos tradicionales, obteniéndose un mecanismo de detección precoz frente a cambios en el proceso.

Diversos estudios han demostrado que la integración de arquitecturas basada en internet de las cosas (IoT) y ML permite la adquisición continua de datos y el monitoreo en tiempo real en sistemas de tratamiento de aguas residuales. Tal es el caso de Abekoon et al. (2025), quienes señalan que la implementación de tecnologías del internet facilita la adquisición y supervisión de datos en tiempo real mediante sensores que son procesados por modelos de aprendizaje automático que generan análisis inmediatos, apoyando la rapidez en la toma de decisiones. Este enfoque reduce la dependencia de análisis de laboratorios promoviendo una gestión adaptativa basada en datos. La integración de estas tecnologías permite optimizar el desempeño del sistema, incrementar la eficiencia y fortalecer la mejora continua del tratamiento. Implementar arquitecturas IoT y ML en las plantas de tratamiento, resulta relevante, ya que contribuye a la automatización, reducción de tiempos de espera y sostenibilidad operativa. Con lo cual, se recomienda desarrollar estrategias de digitalización progresiva que integren sensores inteligentes, plataformas de análisis y modelos predictivos, con el fin de mejorar la gestión de los procesos y garantizar un control más eficiente y confiable de los sistemas de tratamiento.

## **5. Argumento 4**

### **Transición hacia la automatización**

Finalmente, la capacidad de procesar datos al instante y ejecutar acciones correctivas en tiempo real no solo resuelve problemas diarios, sino que impulsa a las PTAR hacia su evolución tecnológica definitiva: la transición hacia la automatización bajo el marco de la industria 4.0.

Hasta la fecha, la optimización de los sistemas de tratamiento de aguas residuales dependía de la velocidad y precisión con la que se obtienen los datos analíticos. Sin embargo, la transición a la industria 4.0 ha permitido que los algoritmos de aprendizaje automático evolucionen la manera en que se analizan los datos a través de sus herramientas digitales avanzadas. Al respecto, Gulshin y Kuzina (2024) sostienen que existen modelos diseñados a partir de modelos de regresión, que implementados en sensores virtuales, son capaces de reemplazar parcialmente a sensores físicos, que además permiten reducir costos de planta. Esta innovación permite monitorear parámetros

complejos y eliminar el tiempo de espera de análisis químicos tradicionales. Si bien es cierto estos sistemas facilitan el monitoreo continuo de parámetros, lo cual significa un avance en la modernización permitiendo pasar de un enfoque reactivo a uno predictivo, su adopción requiere garantizar la calidad de datos proporcionados, la calibración continua de los modelos y la capacitación del personal para asegurar la confiabilidad de las predicciones y evitar decisiones operativas erróneas. En este sentido, el reto actual no radica únicamente en el desarrollo tecnológico, sino en la integración adecuada de estas herramientas dentro de la gestión de las plantas de tratamiento.

## 6. Conclusiones

En conclusión, la IA cambia el modo en el cual se puede operar una PTAR, sustituyendo la gestión reactiva (tradicional) por una preventiva (futuro). La evidencia demuestra que el uso de algoritmos basados en ML mitiga 3 principales problemas del tratamiento: Reduce la incertidumbre en fenómenos biológicos no lineales como el bulking con absoluta precisión, garantiza el cumplimiento normativo asegurando la calidad del efluente mediante la dosificación correcta de químicos y asegura la disponibilidad de los equipos a través del mantenimiento predictivo. Así, el ML despliega un fuerte uso en la detección temprana de anomalías y fallas.

Asimismo, la optimización adaptativa dotada por el ML transforma a las PTAR en sistemas dinámicos capaces de reaccionar ante fluctuaciones en el entorno y adaptarse a ellas. Gracias a la predicción dotada por la librería de datos el algoritmo permite amortiguar e inyectar oxígeno precisamente, ahorrando en gastos innecesarios. Dependiendo del modelo de aprendizaje autónomo que se elija como alguno basado en árboles (Random Forest, XGBoost) el algoritmo será dotado de robustez al poder trabajar con una librería de pocos datos.

En definitiva, existe una drástica reducción de tiempos de espera gracias a los mecanismos de aprendizaje autónomo de la IA. Al actuar como un asistente, se traduce instantáneamente el flujo de datos en señales, en advertencias para una toma de decisión activa asegurando así la rápida acción y el menor perjuicio a la PTAR y trabajadores.

Finalmente, se evidencia que la automatización hacia una industria 4.0 en el sector de saneamiento es una realidad pronta, por su factibilidad técnica y económica. La integración de soft sensors, permite la inferencia de estados fisicoquímicos del agua, sustituyendo la instrumentación tradicional. Esta innovación asegura una simplificación masiva en la recolección de datos, asegurando una lectura ininterrumpida que alimenta a sistemas de visualización y toma de decisiones como SCADA.

## 7. Literatura citada

- ABEKOON, A., BOGAHAWATHTHA, M., GANGANI, D., JANAKA A., MEDDAGE, D. (2025). A REVIEW OF MACHINE LEARNING AND INTERNET-OF-THINGS ON THE WATER QUALITY ASSESSMENT: METHODS, APPLICATIONS AND FUTURE TRENDS. *RESULTS IN ENGINEERING*, 26, 105182. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.RINENG.2025.105182](https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.105182)
- ALALOUL, W., ALAZAIZA, M., ALMUHAYA, B., AL-ZGHOUL, T., BAARIMAH, A., BAZEL, M., KHAN, A., MUSTAHA, A. (2024). ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN WASTEWATER TREATMENT: RESEARCH TRENDS AND FUTURE PERSPECTIVES THROUGH BIBLIOMETRIC ANALYSIS. *CASE STUDIES IN CHEMICAL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING*, 10, 100926. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.CSCEE.2024.100926](https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100926)
- ALLUHAIKAN, A., PRABU, P., AZIZ, R. & BASHEER, S. (2025). ADAPTIVE WASTEWATER FLOW CONTROL USING AQUAFLOWNET WITH REINFORCEMENT LEARNING FOR URBAN DRAINAGE OPTIMIZATION. *APPLIED WATER SCIENCE*, 15, 19182. [HTTPS://LINK.SPRINGER.COM/ARTICLE/10.1007/S13201-025-02719-4#:~:TEXT=ADAPTIVE%20OPTIMIZATION%20OF%20VALVES%20AND,SCENARIOS%20OR%20UNEXPECTED%20INFLOW%20SPIKES](https://link.springer.com/article/10.1007/s13201-025-02719-4#:~:text=ADAPTIVE%20OPTIMIZATION%20OF%20VALVES%20AND,scenarios%20or%20unexpected%20inflow%20spikes)
- BAIR, R., CASTRO, J., LU, Q., SHYU, H., & YEH, D. (2023). DEVELOPMENT OF A SOFT SENSOR USING MACHINE LEARNING ALGORITHMS TO PREDICT WATER QUALITY IN AN ON-SITE WASTEWATER TREATMENT SYSTEM. *ACS ENVIRONMENTAL AU*, 3 (5), 308-318. [HTTPS://PUBS.ACS.ORG/DOI/10.1021/ACSENVIRONAU.2C00072](https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsenvironau.2c00072)
- BARBU, M., VOIPAN, D., VOIPAN, A. E.. (2025). EVALUATING MACHINE LEARNING-BASED SOFT SENSORS FOR EFFLUENT QUALITY PREDICTION IN WASTEWATER TREATMENT UNDER VARIABLE WEATHER CONDITIONS. *SENSORS*, 25 (6), 1692. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/S25061692](https://doi.org/10.3390/s25061692)
- BERTOLINI, M., MEZZOGORI, D., NERONI, M., ZAMMORI, F. (2021). MACHINE LEARNING FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS: A COMPREHENSIVE LITERATURE REVIEW. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*, 175, 114820. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.ESWA.2021.114820](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.114820)
- CAIRONE, S., HASAN, S. CHOO, K., LEKKAS, D., FORTUNANOT, L., ZORPAS, A., KORSHIN, G., ZARRA, T., BELGIORNO, V. & NADDEO, V. (2024). REVOLUTIONIZING WASTEWATER TREATMENT TOWARD CIRCULAR ECONOMY AND CARBON NEUTRALITY GOALS: PIONEERING SUSTAINABLE AND EFFICIENT SOLUTIONS FOR AUTOMATION AND ADVANCED PROCESS CONTROL WITH SMART AND CUTTING-EDGE TECHNOLOGIES. *JOURNAL OF WATER PROCESS ENGINEERING*, 63, 105486. [HTTPS://WWW.SCIENCEDIRECT.COM/SCIENCE/ARTICLE/PII/S2214714424007189](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714424007189)
- DIKMEN, F., DEMIR, A., ÖZKAYA, B., OWAIS, M., RASHEED, J., ASUROGLU, T. & ALSUBAI, S. (2025). AI-DRIVEN WASTEWATER MANAGEMENT THROUGH COMPARATIVE ANALYSIS OF FEATURE SELECTION TECHNIQUES AND PREDICTIVE MODELS. *SCIENTIFIC REPORTS*, 15(25347). [HTTPS://WWW.NATURE.COM/ARTICLES/S41598-025-07124-0](https://www.nature.com/articles/s41598-025-07124-0)
- FIC, P., CZORNIK, A. & ROSIKOWSKI, P. (2023). ANOMALY DETECTION FOR HYDRAULIC POWER UNITS—A CASE STUDY. *FUTURE INTERNET*, 15(6), 206. [HTTPS://WWW.MDPI.COM/1999-5903/15/6/206](https://www.mdpi.com/1999-5903/15/6/206)

- GULSHIN, I. & KUZINA, O. (2024). MACHINE LEARNING METHODS FOR THE PREDICTION OF WASTEWATER TREATMENT EFFICIENCY AND ANOMALY CLASSIFICATION WITH LACK OF HISTORICAL DATA. *APPLIED SCIENCES*, 14(22). [HTTPS://WWW.MDPI.COM/2076-3417/14/22/10689](https://www.mdpi.com/2076-3417/14/22/10689)
- GUO, X., JIANG, H., LI, H., LI, X., LIU, C., SUN, H., & MIAO, S. (2025). APPLYING MACHINE LEARNING APPROACH TO DESIGN OPERATIONAL CONTROL STRATEGIES FOR A WASTEWATER TREATMENT PLANT IN TYPICAL SCENARIOS. *WATER*, 17 (3), 310. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/W17030310](https://doi.org/10.3390/w17030310).
- HASSAN, H. (2025) MACHINE LEARNING APPLICATION IN MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT TO ENHANCE THE PERFORMANCE OF A SEQUENCING BATCH REACTOR WASTEWATER TREATMENT PLANT. *ENVIRONMENTAL SCIENCE: ADVANCES*, 1, 1-11. [HTTPS://DOI.ORG/10.1039/D4VA00285G](https://doi.org/10.1039/D4VA00285G)
- KHOSHVAGHT, H., RAMYAD, R., RAZMJOU, A. & KHIADANI, M. (2025). FACTORS INFLUENCING THE EFFECTIVENESS OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS IN PREDICTING RAW WASTEWATER CHARACTERISTICS: AN ANALYSIS BASED ON WEEKLY FIELD DATA. *JOURNAL OF WATER PROCESS ENGINEERING*, 78, 108702. [HTTPS://WWW.SCIENCEDIRECT.COM/SCIENCE/ARTICLE/PII/S2214714425017751](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714425017751)
- LLAMUCA, S. Y BAYAS, M. (2025). GENERACIÓN DE UN MODELO ESTADÍSTICO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL CONTROL DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA, DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EL CARRIZAL, PERTENECIENTE A LA PARROQUIA SAN MIGUEL, DEL CANTÓN SALCEDO, PROVINCIA DE COTOPAX. *IMPACT RESEARCH JOURNAL*, 3(2), 261 - 285. [HTTPS://WWW.EDITORIALSPHAERA.COM/INDEX.PHP/IMP/ARTICLE/VIEW/201/491](https://www.editorialspheera.com/index.php/imp/article/view/201/491)
- MARIN, J. (2024). PROTOTIPO DE MODELO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA MEJORAR LA DOSIFICACIÓN QUÍMICA EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL. [TESIS DE GRADO, UNIVERSIDAD EAN] [HTTPS://REPOSITORY.UNIVERSIDADEAN.EDU.CO/SERVER/API/CORE/BITSTREAMS/241642DF-C2F4-4B69-BFBE-061F42F71472/CONTENT](https://repository.universidadean.edu.co/server/api/core/bitstreams/241642df-c2f4-4b69-bfbe-061f42f71472/content)
- NASIR, F. & LI, J. (2024). UNDERSTANDING MACHINE LEARNING PREDICTIONS OF WASTEWATER TREATMENT PLANT SLUDGE WITH EXPLAINABLE ARTIFICIAL INTELLIGENCE. *WATER ENVIRONMENT RESEARCH*, 96(10). DOI: 10.1002/wer.11136
- OLIVEIRA, P., SUPINO, F., DUARTE, S. & DURAES, D. (2024). ASSESSMENT OF LSTM AND GRU MODELS TO PREDICT THE ELECTRICITY PRODUCTION FROM BIOGAS IN A WASTEWATER TREATMENT PLANT. *GOOD PRACTICES AND NEW PERSPECTIVES IN INFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES*. (PP. 64-73). [HTTPS://REVISTAS.UDC.ES/INDEX.PHP/JA\\_CEA/ARTICLE/VIEW/10960](https://revistas.udc.es/index.php/JA_CEA/article/view/10960)
- RAMYA, S., SRINATH, S. & TUPPAD, P. (2025). DATA DRIVEN MULTI-STAGE TRANSFORMER BASED FRAMEWORK FOR INTELLIGENT WATER QUALITY MONITORING. *SCIENTIFIC REPORTS*, 15(41680). [HTTPS://WWW.NATURE.COM/ARTICLES/S41598-025-25527-X](https://www.nature.com/articles/s41598-025-25527-x)
- SANABRIA, G., Y REGIL-VARGAS, L. (2024). INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA RECOMENDACIÓN DE RECURSOS EN EDUCACIÓN EN LÍNEA. *APERTURA (GUADALAJARA, JAL.)*, 16(2), 6-21. [HTTPS://DOI.ORG/10.32870/AP.V16N2.2542](https://doi.org/10.32870/ap.v16n2.2542)

- SÁNCHEZ, L., REVOLLAR, S., FRANCISCO, M., VEGA, P., MENESES, M. Y VILANOVA, R. (2024) INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA Y LAS ACCIONES DE CONTROL EN LAS REACCIONES BIOLÓGICAS DEL PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS. JORNADAS DE AUTOMÁTICA, (45). DOI: 10.17979/JACEA.2024.45.10960
- SZCZERSKA, M. ET AL. (2025). REMOTE REAL-TIME WASTEWATER SURVEILLANCE BY THE OPTICAL SENSOR SUPPORTED BY MACHINE LEARNING. SENSORS AND ACTUATORS REPORTS, 10, 100346. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.SNR.2025.100346](https://doi.org/10.1016/j.snr.2025.100346).
- TAPIA, S., AGUILERA, G., ROJAS, L. Y GARCÍA, J. (2024). MANTENIMIENTO PREDICTIVO BASADO EN MACHINE LEARNING: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA Y PERSPECTIVAS EN LA INDUSTRIA 4.0. AVANCES EN CIENCIAS E INGENIERÍA, 15 (4), 63 - 93 [HTTPS://ACIJOURNAL.CL/INDEX.PHP/OJS/ARTICLE/DOWNLOAD/3/51](https://acijournal.cl/index.php/ojs/article/download/3/51)
- XIONG, Z., CHENG, L., IBRAHIM, A., JIAN, D., ZHANG, X., IGOU, T., TONG, S. & CHEN, Y. (2025). MACHINE LEARNING-ASSISTED EXPERT CONTROL IN WASTEWATER AERATION TREATMENT PROCESS APPLICATION. ACS ES&T ENGINEERING, 5(11), 3140-3152. [HTTPS://PUBS.ACS.ORG/DOI/PDF/10.1021/ACSESTENGG.5C00493?REF=ARTICLE\\_OPENPDF](https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acsestengg.5c00493?ref=article_openpdf)
- ZAMFIR, F., CARBUREANU, M. & MIHALACHE, F. (2025). APPLICATION OF MACHINE LEARNING MODELS IN OPTIMIZING WASTEWATER TREATMENT PROCESSES: A REVIEW. APPLIED SCIENCES, 15(15). [HTTPS://WWW.MDPI.COM/2076-3417/15/15/8360](https://www.mdpi.com/2076-3417/15/15/8360)
- SASIENI, MAURICE. (1994). INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES. MEXICO. LIMUSA.
- SETO, WILLIAM. (1964). THEORY AND PROBLEMS OF MECHANICAL VIBRATIONS. NEW YORK. SCHAUUM PUBLISHING CO.
- STÖHR, W. (1985). SELECTIVE SELFRELIANCE AND ENDOGENOUS REGIONAL DEVELOPMENT, UNGLEICHE ENTWICKLUNG UND REGIONALPOLITIK IN SÜDEUROPA. ED. NOHLEN & SCHULTZE, STUDIENVERLAG DR. N. BROCKMEYER. BOCHUM.
- WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. (1987). OUR COMMON FUTURE. UNITED NATIONS.

# Emociones detrás del carrito: exploración fenomenológica en consumidores digitales vinculados a emprendimientos de e-commerce

Srta. Isabel del Rosario Cornejo Grabiél  
Escuela de Educación Superior CERTUS  
Correo electrónico: cornejograbiélisabeldelrosario@gmail.com

Sr. Fernando Aarón Chalco Cochealle  
Escuela de Educación Superior CERTUS  
Correo electrónico: cocheallefernandoaron@gmail.com

Srta. Grecia Leninshenka Acosta Yman  
Escuela de Educación Superior CERTUS  
Correo electrónico: 72567857@certs.edu.pe

Srta. Giovana Lisbet Espino Herrera  
Escuela de Educación Superior CERTUS  
Correo electrónico: 45434054@certus.edu.pe

Srta. Sharon Natalie Guerra Angulo  
Escuela de Educación Superior CERTUS  
Correo electrónico: 70923794@certus.edu.pe

Srta. Samira Sarai Osnayo Quiroz  
Escuela de Educación Superior CERTUS  
Correo electrónico: 70627684@certus.edu.pe

Sr. Juan Jesús Rayme  
Escuela de Educación Superior CERTUS  
Correo electrónico: 75332688@certus.edu.pe

Srta. Daniela Nayeli Romero Espinoza  
Escuela de Educación Superior CERTUS  
Correo electrónico: 75667730@certus.edu.pe

Sr. Vicente Emanuel Villena  
Escuela de Educación Superior CERTUS  
Correo electrónico: vicenteVillena2007@gmail.com

**Resumen:** El presente estudio explora el papel de las emociones en las decisiones de la compra digital, con un enfoque en consumidores que también desarrollan actividades de emprendimiento en plataformas de comercio electrónico. Mediante un diseño cualitativo de tipo fenomenológico, se entrevistó a once participantes con experiencia tanto en consumo como en venta digital. Los resultados revelan que emociones como la satisfacción, la frustración, la ansiedad y la confianza condicionan profundamente el comportamiento de compra. Asimismo, se identificaron estrategias de autocontrol emocional y percepción de riesgo que influyen en la fidelización o abandono de plataformas. El estudio concluye que comprender las experiencias emocionales del consu-

midor emprendedor es clave para mejorar la experiencia digital y fortalecer la confianza en el entorno del e-commerce.

**Palabras clave:** Consumo digital/ Emociones/ Comercio electrónico/ Emprendedores/ Comportamiento del consumidor.

**Abstract:** This study explores the role of emotions in digital purchasing decisions, focusing on consumers who also engage in entrepreneurial activities on e-commerce platforms. Using a qualitative phenomenological design, eleven participants with experience in both buying and selling online were interviewed. Findings show that emotions such as satisfaction, frustration, anxiety, and trust significantly influence consumer behavior. The study also identified emotional self-regulation strategies and perceptions of risk that affect customer loyalty or platform abandonment. It concludes that understanding the emotional experiences of entrepreneurial consumers is essential for enhancing digital engagement and strengthening trust in the e-commerce environment.

**Keywords:** Digital consumption/ Emotions/ E-commerce/ Entrepreneurs/ Consumer behavior.

**Résumé :** Cette étude explore le rôle des émotions dans les décisions d'achat en ligne, en se concentrant sur les consommateurs qui exercent également des activités entrepreneuriales sur les plateformes de commerce électronique. Une approche qualitative et phénoménologique a été utilisée, avec des entretiens menés auprès de onze participants ayant une expérience de la consommation et de la vente en ligne. Les résultats révèlent que des émotions telles que la satisfaction, la frustration, l'anxiété et la confiance influencent profondément le comportement d'achat. De plus, des stratégies de maîtrise émotionnelle et de perception du risque ont été identifiées, qui influent sur la fidélité à la plateforme ou l'abandon de celle-ci. L'étude conclut que la compréhension des expériences émotionnelles des consommateurs entrepreneurs est essentielle pour améliorer l'expérience numérique et renforcer la confiance dans l'environnement du commerce électronique.

**Mots-clés :** Consommation numérique/ Émotions/ Commerce électronique/ Entrepreneurs/ Comportement du consommateur.

## 1. Introducción

Comprar por internet ha dejado de ser una simple operación funcional para convertirse en una experiencia profundamente emocional. Lejos de limitarse a una acción racional de intercambio, la compra digital implica decisiones influenciadas por sentimientos como la ansiedad, la satisfacción, la duda o el entusiasmo. En la era del comercio electrónico, cada clic no solo representa una elección de consumo, sino también una expresión emocional que revela cómo los usuarios interactúan, confían y se proyectan en el entorno virtual.

Este fenómeno se intensifica en un grupo particular de consumidores: aquellos que, además de comprar, también emprenden. Para ellos, adquirir un producto en línea no solo obedece a una necesidad personal, sino que muchas veces responde a una lógica comercial. La elección de un proveedor confiable, la evaluación de promociones o el análisis de reseñas no son decisiones neutrales, sino parte de un proceso donde lo emocional se entrelaza con lo estratégico. En este contexto, las emociones no son un accesorio, sino un motor clave en la toma de decisiones.

Las investigaciones recientes han confirmado este protagonismo emocional en el consumo digital. Por ejemplo, Harantová y Mazanec (2025) destacan que la generación Z no solo busca funcionalidad al comprar, sino también experiencias auténticas, significativas y con impacto ambiental. Del mismo modo, Gajdzik, Jaciow y Wolny (2023) señalan que las emociones influyen en la percepción de productos incluso cuando estas no se expresan conscientemente, afectando la decisión de compra de forma determinante.

Particularmente en los canales digitales, factores como los comentarios de otros usuarios, el diseño de la interfaz o el tiempo de entrega pueden activar emociones de confianza o desconfianza, afectando significativamente el comportamiento del consumidor (Chen et al., 2022; Berčík et al., 2024). Estos factores cobran aún más relevancia cuando el usuario también gestiona un emprendimiento, pues su experiencia personal repercute en las decisiones que toma como vendedor, desde la elección de productos hasta la gestión de su reputación digital.

Sin embargo, la literatura sobre consumo digital aún se enfoca mayormente en variables tangibles como el precio, el tiempo de entrega o la facilidad de uso. Lo emocional suele tratarse de forma superficial o indirecta. Esta omisión limita la comprensión de un fenómeno que, en realidad, es profundamente humano. Como afirman Cuong (2024) y Yang et al. (2025), las emociones no solo intervienen en el cierre de una compra, sino que están presentes desde el momento en que se considera una opción, se comparan alternativas o se abandona un carrito de compras.

Por ello, es urgente repensar la experiencia de consumo digital desde una perspectiva más cercana, más sensible y más real. Sobre todo, si se pretende comprender cómo los pequeños emprendedores, aquellos que venden y compran por las mismas plataformas, construyen sus decisiones a partir de vivencias emocionales que se entrelazan con sus prácticas comerciales cotidianas.

### **Objetivo de la investigación**

Explorar cómo influyen las emociones en las decisiones de compra digital de consumidores que, además de usuarios, desempeñan el rol de emprendedores o microcomerciantes en plataformas de comercio electrónico, identificando sus motivaciones, percepciones y reacciones frente a elementos emocionales como reseñas, promociones, experiencias previas o tiempos de espera.

## Pregunta de investigación

¿De qué manera las emociones, especialmente aquellas desencadenadas por experiencias negativas como críticas o demoras, influyen en las decisiones de compra digital de consumidores vinculados a emprendimientos de e-commerce?

## 2. Metodología

### Diseño

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, con diseño fenomenológico, cuyo propósito es comprender en profundidad las vivencias, percepciones y significados que las personas atribuyen a su experiencia de compra digital. El diseño fenomenológico es idóneo para explorar cómo los individuos experimentan fenómenos cotidianos, especialmente aquellos cargados de componentes emocionales, como lo es la interacción con plataformas de comercio electrónico (Bakar et al., 2025). En este caso, se privilegió la comprensión del punto de vista subjetivo del consumidor-emprendedor, considerando las emociones que emergen durante su proceso de compra y cómo estas influyen en sus decisiones.

### Participantes

La muestra fue de tipo intencional, seleccionando a once personas entre 18 y 40 años de edad, residentes en Lima Metropolitana, que cumplieran con dos criterios esenciales: haber realizado compras recurrentes en al menos dos plataformas de comercio electrónico durante el último año, y contar con experiencia previa en ventas digitales o actividades de emprendimiento en línea, ya sea por redes sociales, marketplaces o tiendas virtuales. Esta selección buscó garantizar una diversidad de perfiles sociodigitales, incorporando participantes de diferentes niveles educativos, económicos y de alfabetización digital. El objetivo fue captar una amplia gama de experiencias emocionales asociadas tanto al acto de consumir como al rol que muchos de estos participantes desempeñan como pequeños comerciantes digitales.

### Instrumentos

Se empleó como instrumento una guía de entrevista semiestructurada, elaborada específicamente para captar dimensiones emocionales relacionadas con el proceso de compra digital. Esta guía incluyó preguntas abiertas orientadas a explorar situaciones específicas de compra, percepciones frente a reseñas o promociones, estados emocionales antes, durante y después de la compra, y reflexiones sobre el uso del carrito digital. El formato semiestructurado permitió mantener una coherencia temática entre entrevistas; pero también dio espacio a la espontaneidad y a la narración libre de experiencias significativas por parte de los participantes.

## Procedimiento

La recolección de datos se llevó a cabo de forma remota mediante plataformas de videollamadas como Zoom y Google Meet. Esta modalidad no solo facilitó el acceso de los participantes desde sus espacios cotidianos, sino que además permitió recrear el entorno natural en el cual usualmente interactúan con plataformas de e-commerce, brindando así mayor autenticidad a sus relatos. Cada entrevista tuvo una duración promedio de 30 a 60 minutos. Antes de iniciar cada sesión, se brindó información detallada sobre los objetivos del estudio, asegurando el consentimiento informado y la confidencialidad de las respuestas. Las entrevistas fueron grabadas, con autorización, para su posterior transcripción y análisis. La recolección de datos se realizó en un periodo de tres semanas, priorizando la disponibilidad y comodidad de los participantes.

## Análisis de datos

El análisis de la información se realizó mediante codificación temática, siguiendo los principios del análisis fenomenológico. Se partió de una lectura exhaustiva de las transcripciones, identificando unidades de significado y agrupándolas en categorías emergentes. Posteriormente, se organizaron en temas principales y subtemas que reflejan las motivaciones, emociones, patrones de comportamiento y estrategias de autocontrol vinculadas al consumo digital. Este proceso fue realizado de forma manual, respetando la autenticidad del lenguaje de los participantes. Para garantizar la validez del análisis, se trianguló la interpretación con la revisión entre investigadores y se buscó saturación temática en los discursos. La coherencia entre los hallazgos y las experiencias reportadas por los participantes permitió fortalecer la credibilidad y profundidad del estudio.

## 3. Resultados

**Tabla N° 1:** Motivaciones para comprar en línea en consumidores que también emprenden

Subtema	Extracto representativo	Sentido emocional dominante
Promociones	"Hay muy buenas promociones ahí, pero hay que saber escoger."	Entusiasmo, racionalidad
Necesidad del producto	"He comprado más por el tema de necesidad de un producto."	Urgencia, responsabilidad
Iniciativa emprendedora	"Quería empezar algo nuevo, porque es importación."	Expectativa, ambición

**Nota:** La tabla 1 muestra que las motivaciones de compra combinan intereses personales con metas comerciales, evidenciando un perfil dual de consumidor y vendedor digital. **Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla N° 2:** Factores emocionales durante la experiencia de compra digital

Subtema	Expresión del participante	Emoción predominante
Satisfacción por buen producto	"Me siento satisfecha... los productos me llegan."	Satisfacción, alegría
Frustración por malas entregas	"Lo que me has regalado no funciona... me generó una molestia."	Decepción, enojo
Ansiedad por la espera	"Ya estoy desesperado porque me llegue ese producto."	Ansiedad, impaciencia

**Nota.** La tabla 2 evidencia cómo el proceso de compra activa diversas emociones que influyen en la valoración de plataformas y marcas por parte del consumidor-emprendedor. **Fuente:** elaboración propia.

**Tabla N° 3:** Prácticas de autocontrol y gestión emocional en la compra

Subtema	Cita significativa	Estrategia aplicada
Uso táctico del carrito	"Entro al carrito y ahí depuro cosas que no considero importantes."	Evaluación, filtrado
Presupuesto emocional mensual	"Es un monto fijo para comprar... así no nos cortamos el gusto, pero lo controlamos."	Autocuidado financiero
Espera por mejores ofertas	"Tratas de ver el momento preciso en el que el producto está barato."	Paciencia, optimización

**Nota:** La tabla 3 muestra que muchos participantes emplean tácticas conscientes para evitar compras impulsivas, revelando una capacidad de autorregulación emocional valiosa en contextos de emprendimiento. **Fuente:** elaboración propia.

**Tabla N° 4:** Factores de confianza y percepción de seguridad en el e-commerce

Subtema	Testimonio clave	Emoción asociada
Confianza ganada por experiencia	"Sí, por el momento es una app segura para mí."	Tranquilidad, fidelidad
Temor inicial a fraudes	"Uno siempre con temor por todo lo que pasa."	Miedo, duda
Recomendaciones para evitar estafas	"Siempre vean los comentarios de las personas que hacen las compras."	Precaución, aprendizaje

**Nota.** La tabla 4 resalta que la experiencia acumulada permite construir confianza, aunque los temores iniciales siguen siendo comunes en contextos digitales inciertos. **Fuente:** elaboración propia.

#### 4. Discusión

El objetivo de esta investigación fue explorar cómo influyen las emociones en las decisiones de compra digital de consumidores que, además de ser usuarios, desarrollan actividades de emprendimiento en plataformas de comercio electrónico. A partir de los resultados obtenidos, se evidencia que el proceso de compra en línea no se puede entender únicamente desde una perspectiva racional o funcional, sino que está profundamente atravesado por componentes emocionales que condicionan cada fase de la experiencia digital.

Uno de los hallazgos más significativos es que las motivaciones de compra están influenciadas tanto por necesidades personales como por fines comerciales, especialmente cuando el comprador también actúa como vendedor o distribuidor. Tal como se observa en la tabla 1, factores como las promociones, la necesidad del producto y el deseo de iniciar un emprendimiento marcan una triple dimensión del consumo: emocional, funcional y estratégica. Esto coincide con Gajdzik, Jaciow y Wolny (2023), quienes afirman que los consumidores digitales no solo buscan utilidad, sino también experiencias personalizadas que conecten con sus emociones e intereses sociales.

Durante la experiencia de compra, las emociones se intensifican. La satisfacción, la ansiedad o la frustración emergen como reacciones ante eventos tan variados como la calidad del producto, el tiempo de entrega o la atención recibida (tabla 2). Chen et al. (2022) demostraron que elementos visuales como reseñas, calificaciones y fotos impactan directamente en las emociones del consumidor, al activar juicios previos a la compra. En esta línea, Berčík et al. (2024) explican que incluso estímulos sensoriales indirectos, como el olor del producto o la estética de la interfaz, pueden generar memorias emocionales que influyen en la fidelización o el rechazo de una marca.

Adicionalmente, se identificaron estrategias de autocontrol emocional que permiten a los consumidores modular sus impulsos de compra, como establecer presupuestos

emocionales, depurar el carrito digital o esperar momentos específicos del calendario comercial (tabla 3). Este comportamiento refleja una toma de conciencia progresiva frente a los riesgos del consumo impulsivo, especialmente en entornos digitales altamente estimulantes. Cuong (2024) plantea que incluso en decisiones aparentemente racionales, las emociones sutiles pueden determinar la conducta del consumidor. De forma complementaria, Chen, He y Sun (2025) argumentan que la ansiedad digital, sumada a una baja autoeficacia, afectan la percepción del valor de compra y el nivel de confianza del usuario en su decisión.

En ese sentido, el proceso de compra no se puede desligar de las condiciones del entorno digital. Estudios como el de Liu et al. (2024) demuestran que variables externas, como el clima, también impactan en el estado de ánimo del comprador y, por tanto, en su comportamiento. Esta influencia contextual se refleja en la tabla 4, donde la percepción de seguridad, la confianza en la plataforma o el temor a fraudes son factores que activan respuestas emocionales protectoras. Bakar et al. (2025) señalan que los métodos de pago, como el uso de billeteras electrónicas o la opción "pagar después", pueden generar distintos niveles de "dolor de pago", alterando la decisión final del consumidor.

Por otro lado, el proceso de interpretación emocional está mediado por narrativas digitales que el usuario construye a partir de su experiencia. Escalas y Luce (2003) sostienen que el consumidor se "transporta narrativamente" cuando se conecta emocionalmente con un contenido o producto, lo cual incrementa la eficacia publicitaria y la probabilidad de compra. Esta idea se refuerza al observar cómo los participantes del estudio dan sentido a sus compras no solo como actos económicos, sino como microhistorias personales, con emociones asociadas al logro, la frustración o la validación social.

Finalmente, se destaca que la experiencia emocional de compra también impacta en la gestión que el consumidor-emprendedor realiza con sus propios clientes. Tal como indican algunos testimonios, la forma en que ellos han sido tratados como consumidores influye en la forma en que gestionan sus ventas, atención y reputación digital. Esto convierte al consumidor en un eslabón activo dentro del ecosistema de comercio electrónico, donde su rol se expande más allá de la compra y abarca también prácticas de recomendación, réplica y retroalimentación emocional.

En síntesis, los hallazgos de este estudio revelan que las emociones no son variables periféricas, sino dimensiones centrales del consumo digital, especialmente en el caso de usuarios que también desarrollan actividades comerciales. Reconocer, comprender y gestionar estas emociones desde las plataformas de e-commerce puede ser la clave para fortalecer relaciones de largo plazo, construir marcas confiables y mejorar la experiencia de compra en un entorno cada vez más competitivo y emocionalmente exigente.

## 5. Conclusiones

Los resultados de esta investigación permiten afirmar que las emociones juegan un papel central y determinante en las decisiones de compra digital, especialmente cuando se trata de consumidores que también actúan como emprendedores o microcomerciantes en entornos virtuales. A diferencia de los enfoques tradicionales que priorizan variables tangibles como precio, tiempo de entrega o funcionalidad del producto, este estudio evidencia que las emociones, tanto positivas como negativas, modelan profundamente el comportamiento de compra, desde la primera interacción con la plataforma hasta la toma final de decisión.

Entre las principales conclusiones destaca que las motivaciones de compra digital están atravesadas por múltiples dimensiones: desde la búsqueda de promociones y la necesidad inmediata, hasta la visión de crecimiento personal o comercial. Esto demuestra que el consumidor digital no responde solo a estímulos funcionales, sino también a aspiraciones emocionales y estratégicas. Además, se confirmó que factores como la satisfacción, la ansiedad, el miedo al fraude o la frustración frente a experiencias negativas generan reacciones que pueden fortalecer o debilitar la relación con las plataformas de e-commerce.

Asimismo, se identificó que los consumidores-emprendedores desarrollan mecanismos conscientes de regulación emocional, como la implementación de presupuestos fijos, la espera por ofertas programadas o la depuración crítica del carrito de compras. Estas prácticas revelan no solo un mayor control personal frente al consumo impulsivo, sino también una lógica de sostenibilidad financiera que influye directamente en su comportamiento comercial. Se concluye también que la confianza digital se construye progresivamente mediante experiencias satisfactorias y claridad en la comunicación, mientras que una única experiencia negativa, amplificadas emocionalmente, puede desencadenar desconfianza duradera.

En base a estos hallazgos, se proponen las siguientes recomendaciones orientadas a distintos actores del ecosistema digital:

Para plataformas de comercio electrónico: Diseñar entornos más empáticos y emocionalmente inteligentes que reconozcan las emociones del usuario, a través de interfaces amigables, respuestas automatizadas con lenguaje humano y canales efectivos de resolución de conflictos. Incorporar mecanismos que refuercen la percepción de seguridad, como validaciones visibles, políticas claras de devolución y experiencias de compra transparentes.

Para pequeños emprendedores digitales: Prestar especial atención a la gestión emocional de sus propios procesos de compra, ya que sus experiencias como consumidores influyen en su estilo de venta. Capacitarse en atención al cliente emocional, redacción persuasiva de mensajes y estrategias de fidelización que consideren no solo el producto, sino también la experiencia emocional del cliente.

Para diseñadores de estrategias de marketing digital: Aprovechar la información emocional del consumidor para segmentar mejor las campañas, generar contenido con carga afectiva positiva y fomentar comunidades de usuarios que compartan experiencias reales. Las emociones, especialmente las reseñas con tono personal, tienen más peso que los datos técnicos en la decisión final de compra.

Para investigadores en ciencias del consumo: Ampliar las líneas de estudio cualitativo que incorporen el análisis emocional desde una perspectiva fenomenológica. El rol dual de consumidor y vendedor que muchas personas desempeñan hoy exige comprender sus experiencias no de forma fragmentada, sino como procesos simbólicos complejos que influyen tanto en lo individual como en lo comercial.

En suma, comprender el rol de las emociones en el consumo digital no solo enriquece el campo académico, sino que aporta herramientas prácticas para mejorar la experiencia del usuario, fortalecer marcas responsables y humanizar el comercio electrónico desde una perspectiva más conectada con las realidades actuales del consumidor emprendedor.

## **6. Agradecimiento**

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a la Revista de investigación científica Ciencias e Ingeniería por brindar un espacio inclusivo y accesible que permite la difusión de investigaciones académicas. Este tipo de iniciativas contribuyen significativamente a la democratización del conocimiento, facilitando que los estudios lleguen a audiencias amplias tanto en el ámbito nacional como internacional, superando barreras económicas y geográficas.

Asimismo, valoramos el importante rol de las redes sociales en la visibilización de nuestro trabajo, al funcionar como medios efectivos de conexión con personas interesadas en las interacciones entre ciencia, tecnología y sociedad.

Consideramos fundamental que la revista continúe fomentando publicaciones sustentadas en marcos teóricos rigurosos y evidencia científica verificable, ya que esto no solo fortalece la calidad académica de sus contenidos, sino que también promueve el pensamiento crítico y el desarrollo del conocimiento en nuestras comunidades.

## 7. Literatura citada

- BAKAR, R. M., FAUZIYAH, N., & RAHMAT, A. (2025). DO CONSUMERS PERCEIVE IMPULSIVE BUYING AND PAIN OF PAYMENT? E-COMMERCE TRANSACTIONS USING PAY LATER, E-WALLET, AND CASH-ON-DELIVERY. *GADJAH MADA INTERNATIONAL JOURNAL OF BUSINESS*, 27(1), 31. [HTTPS://DOI.ORG/10.22146/GAMAJB.81568](https://doi.org/10.22146/GAMAJB.81568)
- BERČÍK, J., MRAVCOVÁ, A., NADAL, E. S., LLUCH, D. B. L., & FARKAŠ, A. (2024). FACEREADER COMO HERRAMIENTA DE NEUROMARKETING PARA COMPARAR LAS PREFERENCIAS OLFATIVAS DE LOS CLIENTES EN MERCADOS SELECCIONADOS. *REVISTA ESPAÑOLA DE MARKETING - ESIC*. [HTTPS://DOI.ORG/10.1108/SJME-03-2023-005](https://doi.org/10.1108/SJME-03-2023-005)
- CHEN, J., HE, M., & SUN, J. (2025). AI ANXIETY AND KNOWLEDGE PAYMENT: THE ROLES OF PERCEIVED VALUE AND SELF-EFFICACY. *BMC PSYCHOLOGY*, 13(1). [HTTPS://DOI.ORG/10.1186/S40359-025-02510-9](https://doi.org/10.1186/s40359-025-02510-9)
- CHEN, T., SAMARANAYAKE, P., CEN, X., QI, M., & LAN, Y. (2022). THE IMPACT OF ONLINE REVIEWS ON CONSUMERS' PURCHASING DECISIONS: EVIDENCE FROM AN EYE-TRACKING STUDY. *FRONTIERS IN PSYCHOLOGY*, 13. [HTTPS://DOI.ORG/10.3389/FPSYG.2022.865702](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.865702)
- ESCALAS, J. E., & LUCE, M. F. (2003). UNDERSTANDING THE EFFECTS OF NARRATIVE TRANSPORTATION ON ADVERTISING EFFECTIVENESS. *JOURNAL OF CONSUMER RESEARCH*, 33(4), 421–429. [HTTPS://DOI.ORG/10.1086/426282](https://doi.org/10.1086/426282)
- GAJZIK, B., JACIOW, M., & WOLNY, R. (2023). TYPES OF E-CONSUMERS AND THEIR IMPLICATIONS FOR SUSTAINABLE CONSUMPTION: A STUDY OF THE BEHAVIOR OF POLISH E-CONSUMERS IN THE SECOND DECADE OF THE 21ST CENTURY. *SUSTAINABILITY*, 15(16), 12647. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/SU151612647](https://doi.org/10.3390/su151612647)
- HARANTOVÁ, V., & MAZANEC, J. (2025). GENERATION Z'S SHOPPING BEHAVIOR IN SECOND-HAND BRICK-AND-MORTAR STORES: EMOTIONS, GENDER DYNAMICS, AND ENVIRONMENTAL AWARENESS. *BEHAVIORAL SCIENCES*, 15(4), 413. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/BS15040413](https://doi.org/10.3390/bs15040413)
- LIU, H., WANG, J., ZHANG, R., & LIU, O. (2024). DOES THE WEATHER STILL AFFECT ME WHEN I SHOP AT HOME? THE IMPACT OF WEATHER ON ONLINE SHOPPING BEHAVIOR. *JOURNAL OF THEORETICAL AND APPLIED ELECTRONIC COMMERCE RESEARCH*, 19(3), 2289–2311. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/JTAER19030111](https://doi.org/10.3390/JTAER19030111)
- YANG, C., WANG, C., & PAO, C. (2025). THE IMPACT OF NEGATIVE EMOTIONS ON PRODUCT PURCHASE DECISIONS: A STUDY OF WATCH DESIGN. *BMC PSYCHOLOGY*, 13(1). [HTTPS://DOI.ORG/10.1186/S40359-025-02775-0](https://doi.org/10.1186/s40359-025-02775-0)

## La aplicación de la biorremediación en la contaminación de las aguas residuales del lago Titicaca

Srta. Anjali Greta Asque Huaraca  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Correo electrónico: anjali.asqueh@unmsm.edu.pe

Sr. Cristopher Jesús Baca Ruiz  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Correo electrónico: Cristopher.bacar@unmsm.edu.pe

Sr. Jhack Leodan Silva Gálvez  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Correo electrónico: jhack.silvag@unmsm.edu.pe

Srta. Edyd Franchesca Sosa Palma  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Correo electrónico: edyd.sosap@unmsm.edu.pe

Sr. Diego Turpo Quispe,  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Correo electrónico: diego.turpoq@unmsm.edu.pe

**Resumen:** El lago Titicaca enfrenta un proceso progresivo de degradación ambiental asociado al vertimiento de aguas residuales domésticas, escorrentía agrícola, actividad minera y acumulación de residuos sólidos, factores que afectan la biodiversidad, la salud pública y los servicios ecosistémicos de la cuenca. En este contexto, la biorremediación constituye una alternativa sostenible para disminuir la carga contaminante mediante el empleo de microorganismos, plantas y enzimas capaces de degradar, inmovilizar o remover compuestos tóxicos presentes en el agua. El objetivo del presente artículo es explicar la aplicación de la biorremediación en la contaminación de las aguas residuales del lago Titicaca a partir de una revisión de literatura científica, documentos institucionales y experiencias comparadas. Los resultados revisados muestran experiencias favorables en la remoción de nutrientes, metales pesados, hidrocarburos y carga bacteriológica mediante microalgas, humedales artificiales, bioaumentación y consorcios microbianos. Asimismo, se identifican iniciativas públicas y binacionales para la recuperación del lago, aunque persisten limitaciones de gestión, infraestructura y monitoreo. Se concluye que la biorremediación representa una alternativa viable y complementaria al saneamiento convencional, siempre que se adapte a las condiciones ecológicas del altiplano, se articule con políticas públicas y cuente con participación comunitaria.

**Palabras clave:** Biorremediación/ Lago Titicaca/ Aguas residuales/ Contaminación hídrica/ Sostenibilidad.

**Abstract:** Lake Titicaca is undergoing progressive environmental degradation associated with domestic wastewater discharges, agricultural runoff, mining activity, and solid waste accumulation, all of which affect biodiversity, public health, and ecosystem servi-

ces in the basin. In this context, bioremediation is a sustainable alternative for reducing pollutant loads through the use of microorganisms, plants, and enzymes capable of degrading, immobilizing, or removing toxic compounds from water. The aim of this article is to explain the application of bioremediation to wastewater pollution in Lake Titicaca through a review of scientific literature, institutional documents, and comparative experiences. The reviewed findings show favorable results in the removal of nutrients, heavy metals, hydrocarbons, and bacterial loads through microalgae, constructed wetlands, bioaugmentation, and microbial consortia. Public and binational initiatives for lake recovery were also identified, although important limitations in management, infrastructure, and monitoring remain. It is concluded that bioremediation is a viable alternative that can complement conventional sanitation, provided that it is adapted to the ecological conditions of the Altiplano, linked to public policy, and supported by community participation.

**Keywords:** Bioremediation/ Lake Titicaca/ Wastewater/ Water pollution/ Sustainability.

**Résumé :** Le lac Titicaca subit une dégradation environnementale progressive liée aux rejets d'eaux usées domestiques, au ruissellement agricole, à l'activité minière et à l'accumulation de déchets solides – autant de facteurs qui affectent la biodiversité, la santé publique et les services écosystémiques du bassin versant. Dans ce contexte, la bioremédiation constitue une alternative durable pour réduire la charge polluante grâce à l'utilisation de micro-organismes, de plantes et d'enzymes capables de dégrader, d'immobiliser ou d'éliminer les composés toxiques présents dans l'eau. Cet article vise à expliquer l'application de la bioremédiation à la pollution des eaux usées du lac Titicaca, en s'appuyant sur une analyse de la littérature scientifique, des documents institutionnels et des expériences comparatives. Les résultats analysés font état d'expériences positives en matière d'élimination des nutriments, des métaux lourds, des hydrocarbures et de la charge bactérienne grâce aux microalgues, aux zones humides artificielles, à la bioaugmentation et aux consortiums microbiens. Des initiatives publiques et binationales pour la restauration du lac sont également recensées, malgré la persistance de limitations en matière de gestion, d'infrastructures et de suivi. Il est conclu que la bioremédiation représente une alternative viable et complémentaire à l'assainissement conventionnel, à condition qu'elle soit adaptée aux conditions écologiques du haut plateau, coordonnée avec les politiques publiques et qu'elle bénéficie de la participation de la communauté.

**Mots-clés :** Bioremédiation/ Lac Titicaca/ Eaux usées/ Pollution de l'eau/ Durabilité.

## 1. Introducción

El lago Titicaca, ubicado entre Perú y Bolivia, enfrenta un grave problema de contaminación hídrica que repercute negativamente en el ambiente y en la calidad de vida de las poblaciones ribereñas. El texto original recoge observaciones sobre descargas de

aguas residuales y disposición inadecuada de basura en las riberas, así como la presencia de metales pesados y carga orgánica en zonas críticas de la cuenca.

Esta situación compromete la fauna acuática, la salud humana y el equilibrio ecológico del lago. Frente a este escenario, la biorremediación se plantea como una alternativa tecnológica y ambiental que emplea organismos vivos para eliminar o reducir contaminantes en el medio.

En el manuscrito base se explica que esta estrategia puede aplicarse al tratamiento de aguas con metales pesados o aguas servidas y que su eficacia depende de la naturaleza del contaminante y de las condiciones de monitoreo y operación. Además de su menor impacto ambiental, este enfoque aprovecha procesos naturales como el catabolismo microbiano y la fitoacumulación. A partir de ello, la investigación se orienta a responder de qué manera la biorremediación puede constituir una solución efectiva y sostenible frente a la contaminación por aguas residuales en el lago Titicaca.

En concordancia con esa pregunta, el objetivo del artículo es explicar la aplicación de la biorremediación en este contexto específico a partir de la revisión de literatura científica, documentos institucionales y experiencias comparadas.

## **2. Material y métodos**

El presente trabajo corresponde a una revisión bibliográfica de carácter descriptivo y analítico sobre la aplicación de la biorremediación en cuerpos de agua, con énfasis en el lago Titicaca.

El manuscrito base se elaboró a partir de artículos científicos, informes institucionales, documentos técnicos y notas periodísticas especializadas consignadas en la lista de referencias del texto original.

Para la organización del contenido se identificaron cinco ejes temáticos: contexto ambiental del lago Titicaca, fundamentos de la biorremediación, aplicaciones en cuerpos de agua, proyectos e iniciativas en la cuenca e implementación sostenible de esta tecnología.

Posteriormente, estos ejes fueron reorganizados conforme al formato exigido por la revista Ciencias e Ingeniería, cuyo cuerpo del artículo debe presentarse con las secciones Introducción, material y métodos, resultados, discusión, agradecimiento, conclusiones y literatura citada.

## **3. Resultados**

### **Contexto ambiental del lago Titicaca**

El lago Titicaca se localiza a 3810 m s. n. m. y constituye uno de los cuerpos de agua dulce más relevantes de América del Sur, compartido por Perú y Bolivia.

Según el texto original, posee una superficie aproximada de 8372 km<sup>2</sup>, con 56 % en territorio peruano y 44 % en territorio boliviano, y recibe aportes de más de 25 ríos, entre ellos Ramis, Coata, Suches e llave.

Sus condiciones altiplánicas favorecen la retención de contaminantes, ya que más del 90 % del agua que ingresa se pierde por evaporación.

El artículo base también señala una disminución de las precipitaciones en los últimos años, lo que ha afectado la capacidad de dilución del lago y ha intensificado la concentración de contaminantes.

Entre las principales fuentes de contaminación se mencionan las descargas de aguas residuales no tratadas, el vertimiento de residuos sólidos, la escorrentía agrícola y las actividades mineras.

La eutrofización, la presencia de coliformes fecales y los altos valores de DBO5 en sectores como Yunguyo y Desaguadero evidencian el deterioro de la calidad del agua.

### **Fundamentos de la biorremediación**

La biorremediación es presentada en el manuscrito como un proceso biotecnológico que utiliza microorganismos vivos para atenuar la contaminación en agua, suelo o aire.

El texto distingue entre modalidades in situ y ex situ, dependiendo de si el tratamiento se realiza en el lugar afectado o en condiciones controladas fuera del sitio.

También se destaca qué bacterias y hongos cumplen un papel central por su alta capacidad metabólica.

Entre los mecanismos mencionados figuran la mineralización, que transforma compuestos orgánicos en sustancias inocuas mediante reacciones enzimáticas, y la inmovilización, que incluye bioacumulación y biosorción de sustancias tóxicas o metales pesados.

Asimismo, se explica que ciertos microorganismos pueden actuar en condiciones anaeróbicas mediante procesos de dehalogenación reductiva, mientras otros operan en presencia de oxígeno degradando materia orgánica y favoreciendo la remoción de contaminantes.

En términos comparativos, el manuscrito resalta el menor costo y el menor impacto ambiental de esta estrategia frente a tratamientos fisicoquímicos convencionales.

### **Aplicaciones en cuerpos de agua**

El texto original recoge experiencias nacionales e internacionales que muestran resultados positivos del uso de la biorremediación en ambientes acuáticos contaminados.

En el ámbito peruano, se menciona la reducción de contaminación bacteriológica en el río Chili mediante el uso de plantas en aguas residuales, mientras que a nivel internacional se reportan mejoras en parámetros como DBO5, turbidez, oxígeno disuelto y presencia bacteriana en experiencias aplicadas en otros contextos.

Del mismo modo, se presentan avances biotecnológicos como los modelos metabólicos a escala genómica, los consorcios microbianos y la bioaumentación, orientados a optimizar la remoción de hidrocarburos, compuestos orgánicos tóxicos y metales pesados.

El manuscrito indica además que variables como pH, temperatura, oxígeno y nitrógeno condicionan el rendimiento de los procesos biorremediadores, por lo que su control resulta esencial para lograr una degradación eficaz.

### **Proyectos e iniciativas en el lago Titicaca**

En el caso del lago Titicaca, el documento base describe diversas acciones impulsadas por instituciones públicas peruanas y organismos binacionales con el fin de mitigar la contaminación de la cuenca.

Entre ellas se mencionan planes de acción para la recuperación ambiental, identificación de múltiples focos contaminantes, monitoreo hidrológico en tiempo real y experiencias piloto con humedales artificiales y tecnologías de remoción apoyadas en biorremediación.

No obstante, el mismo texto destaca que los resultados han sido limitados debido a problemas de gestión, insuficiencia de infraestructura sanitaria y persistencia de vertimientos contaminantes.

También se subraya que la complejidad geográfica y ecológica del lago, así como la ausencia de plantas de tratamiento adecuadas en ciudades de alta presión demográfica, dificultan la implementación de soluciones a gran escala.

### **Implementación sostenible de la biorremediación**

El manuscrito sostiene que la biorremediación puede contribuir al desarrollo sostenible porque permite recuperar ambientes degradados con bajo impacto ecológico y costos relativamente menores.

Se destacan especies vegetales y microalgas como *Chlorella vulgaris*, además de biorreactores y humedales construidos, como alternativas con capacidad para remover nutrientes y metales pesados en aguas contaminadas.

En esta línea, se plantea que la adopción de tecnologías basadas en procesos biológicos puede alinearse con objetivos de sostenibilidad vinculados al agua limpia, la protección de ecosistemas y la salud pública.

El texto resalta que el valor de estas estrategias depende de su adecuación a las condiciones locales y del fortalecimiento de la investigación científica aplicada.

#### **4. Discusión**

La revisión muestra que la biorremediación posee un potencial considerable para complementar las estrategias de recuperación ambiental del lago Titicaca, especialmente en contextos donde los sistemas convencionales de saneamiento son insuficientes o presentan limitaciones de cobertura.

Las experiencias comparadas citadas en el manuscrito sugieren que la combinación de microorganismos, plantas acuáticas, humedales artificiales y bioaumentación pueden producir mejoras significativas en la calidad del agua cuando existe un diseño técnico adecuado.

Sin embargo, el caso del lago Titicaca exige cautela al extrapolar resultados, ya que intervienen factores como altitud, variabilidad climática, carga contaminante, condiciones fisicoquímicas del agua y capacidades institucionales de monitoreo.

Por ello, la biorremediación no debe entenderse como sustituto único del saneamiento, sino como parte de un enfoque integral que incluya tratamiento de aguas residuales, fiscalización ambiental, inversión pública transparente y participación comunitaria.

Asimismo, la evidencia reunida en el manuscrito indica que uno de los mayores desafíos no reside solo en la disponibilidad de tecnologías, sino en la continuidad de las políticas, la coordinación binacional y la ejecución eficiente de proyectos.

En ese sentido, la sostenibilidad de cualquier intervención depende de articular la innovación biotecnológica con gobernanza ambiental y educación ciudadana.

#### **5. Agradecimiento**

Se agradece a la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, a la Facultad de Química e Ingeniería Química y al curso Redacción y técnicas de comunicación I por el espacio académico que hizo posible el desarrollo del presente trabajo.

#### **6. Conclusiones**

La biorremediación constituye una alternativa viable y sostenible para contribuir a la recuperación ambiental del lago Titicaca frente a la contaminación por aguas residuales, metales pesados y otras fuentes antrópicas de deterioro.

Su principal fortaleza radica en el aprovechamiento de procesos biológicos naturales con menor impacto ambiental y costos relativamente accesibles en comparación con tratamientos fisicoquímicos tradicionales.

No obstante, su aplicación efectiva a gran escala requiere adaptar las tecnologías a las condiciones ecológicas del altiplano, fortalecer la infraestructura de saneamiento, asegurar monitoreo permanente y mejorar la gestión de los proyectos públicos.

La evidencia revisada permite afirmar que la recuperación del lago demanda una estrategia integral que combine ciencia, tecnología, políticas públicas y participación social entre Perú y Bolivia.

## 7. Literatura citada

- AUTORIDAD BINACIONAL AUTÓNOMA DEL SISTEMA HÍDRICO DEL LAGO TITICACA, RÍO DESAGUADERO, LAGO POOPÓ, SALAR DE COIPASA. (2023, 2 DE FEBRERO). INFORME DE VIAJE EUROSOCIAL. [HTTPS://ALT-PERUBOLIVIA.ORG/WP-CONTENT/UPLOADS/2023/03/01\\_INFORME-VIAJE-EUROSOCIAL.PDF](https://alt-perubolivia.org/wp-content/uploads/2023/03/01_INFORME-VIAJE-EUROSOCIAL.PDF)
- BRETTFELD, E. G., CHEOFA, O. A., CONSTANTINESCU, D. A., & OANCEA, F. (2023). BIOAUGMENTATION PERFORMANCE OF A BACTERIAL CONSORTIUM FOR MOVING BED BIOFILM REACTOR (MBBR) TREATING MUNICIPAL WASTEWATER. *CHEMISTRY PROCEEDINGS*, 13(1), 29. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/CHEMPROC2023013029](https://doi.org/10.3390/CHEMPROC2023013029)
- CÁNEPA, A. C., DE LA CRUZ, C. L., & LOZANO, C. L. (2024). EFECTO BIORREMIADOR DE LOS HONGOS FILAMENTOSOS DE CITRUS X SINENSIS EN SUELO CONTAMINADO CON GASOLINA, LIMA-2022. *THE BIOLOGIST*, 22(2), 171–178. [HTTPS://DOI.ORG/10.62430/RTB20242221824](https://doi.org/10.62430/RTB20242221824)
- DAMAS RAMOS, L. C., SALAZAR GARCÍA, L. M., & LICONA-CASSANI, C. (2021). GENOME-SCALE METABOLIC MODELING FOR THE DEVELOPMENT OF RATIONAL STRATEGIES APPLIED TO BIOREMEDIATION. *REVISTA BIOTECNOLOGÍA*, 25(3), 10–24. [HTTPS://SMBB.MX/WP-CONTENT/UPLOADS/2021/11/DAMAS-ET-AL.-2021.PDF](https://smbb.mx/wp-content/uploads/2021/11/DAMAS-ET-AL.-2021.PDF)
- GARZÓN, J. M., RODRÍGUEZ-MIRANDA, J. P., & HERNÁNDEZ-GÓMEZ, C. (2018). APORTE DE LA BIORREMIACIÓN PARA SOLUCIONAR PROBLEMAS DE CONTAMINACIÓN Y SU RELACIÓN CON EL DESARROLLO SOSTENIBLE. *REVISTA U.D.C.A ACTUALIDAD & DIVULGACIÓN CIENTÍFICA*. [HTTPS://REVISTAS.UDENAR.EDU.CO/INDEX.PHP/USALUD/ARTICLE/DOWNLOAD/3120/HTML](https://revistas.udenar.edu.co/index.php/usalud/article/download/3120/html)
- GONZÁLEZ MORA, I. D., & RÍOS PATRÓN, E. (Eds.). (2023, ABRIL–JUNIO). EXPERIENCIAS EN LA RESTAURACIÓN Y RECUPERACIÓN DE CUERPOS DE AGUA. *IMPLUVIUM*, 9(23). [HTTPS://WWW.AGUA.UNAM.MX/ASSETS/PDFS/IMPLUVIUM/NUMERO23.PDF](https://www.agua.unam.mx/assets/pdfs/impluvium/numero23.pdf)
- HERNÁNDEZ-RUIZ, G. M., ÁLVAREZ-OROZCO, N. A., & RÍOS-OSORIO, L. A. (2016). BIORREMIACIÓN DE ORGANOFOSFORADOS POR HONGOS Y BACTERIAS EN SUELOS AGRÍCOLAS: REVISIÓN SISTEMÁTICA. *CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROPECUARIA*, 18(1), 139–159. [HTTPS://DOI.ORG/10.21930/RCTA.VOL18\\_NUM1\\_ART:564](https://doi.org/10.21930/RCTA.VOL18_NUM1_ART:564)
- JONES, J. L., JENKINS, R. O., & HARRIS, P. I. (2018). EXTENDING THE GEOGRAPHICAL SCOPE OF WATER HYACINTH FOR HEAVY METAL REMOVAL FROM A TEMPERATE NORTHERN HEMISPHERE RIVER. *SCIENTIFIC REPORTS*, 8, 11071. [HTTPS://DOI.ORG/10.1038/S41598-018-29387-6](https://doi.org/10.1038/s41598-018-29387-6)

- KHAN, M. A., GANI, K. M., & KAZMI, A. A. (2019). RAPID GRANULATION OF AEROBIC GRANULAR SLUDGE: A MINI REVIEW ON OPERATION STRATEGIES AND COMPARATIVE ANALYSIS. *BIORESOURCE TECHNOLOGY REPORTS*, 7, 100206. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.BITEB.2019.100206](https://doi.org/10.1016/j.biteb.2019.100206)
- LAZZARO, X. (2016). EL OBSERVATORIO BINACIONAL DEL LAGO TITICACA (OBLT). *BOREA*. [HTTPS://BOREA.MNHN.FR/SITES/DEFAULT/FILES/FICHIERS-EQUIPES/OBLT-EJE%20TRANSVERSAL-BOREA.PDF](https://borea.mnhn.fr/sites/default/files/fichiers-equipements/OBLT-EJE%20TRANSVERSAL-BOREA.PDF)
- MENDOZA, I. F., ORTEGA, L. D. M., AGREDO, J. J. C., RODRÍGUEZ, V. S., CONTRERAS, L. M., & LEYVA, J. B. M. (2025). BACTERIA WITH POTENTIAL USE IN THE BIOREMEDIATION OF WATER CONTAMINATED WITH PESTICIDES: A SYSTEMATIC REVIEW AND SCIENTOMETRIC ANALYSIS. *REVISTA BIO CIENCIAS*. [HTTPS://DOI.ORG/10.15741/REVBIO.12.E1804](https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1804)
- MINISTERIO DEL AMBIENTE. (2019). MINAM PRESENTA PROPUESTA DE PLAN DE ACCIÓN PARA LA PREVENCIÓN Y RECUPERACIÓN DEL LAGO TITICACA 2020-2024. [HTTPS://WWW.GOB.PE/INSTITUCION/MINAM/NOTICIAS/70818-MINAM-PRESENTA-PROPUESTA-DE-PLAN-DE-ACCION-PARA-LA-PREVEN-CION-Y-RECUPERACION-DEL-LAGO-TITICACA-2020-2024](https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/70818-minam-presenta-propuesta-de-plan-de-accion-para-la-prevencion-y-recuperacion-del-lago-titicaca-2020-2024)
- MINISTERIO DEL AMBIENTE. (2020). PLAN DE ACCIÓN PARA LA PREVENCIÓN Y RECUPERACIÓN AMBIENTAL DE LA CUENCA DEL LAGO TITICACA 2020–2024. SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN AMBIENTAL. [HTTPS://SINIA.MINAM.GOB.PE/SITES/DEFAULT/FILES/SIAR-PUNO/ARCHIVOS/PUBLIC/DOCS/PLAN\\_TITICACA\\_DE\\_ACCION\\_TITICACA\\_2020-2024\\_APROBADO.PDF](https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/plan_titicaca_de_accion_titicaca_2020-2024_aprobado.pdf)
- MONTENEGRO, S. P., PULIDO, S. Y., & VALLEJO, L. F. C. (2018). PRÁCTICAS DE BIORREMEDIACIÓN EN SUELOS Y AGUAS. *NOTAS DE CAMPUS*, (1). [HTTPS://WWW.RESEARCHGATE.NET/PROFILE/SAN-DRA-MONTENEGRO-3/PUBLICATION/341199431\\_PRACTICAS\\_DE\\_BIORREMEDIACION\\_EN\\_SUELOS\\_Y\\_AGUAS/LINKS/5EB36A2C299BF152D6A1C080/PRACTICAS-DE-BIORREMEDIACION-EN-SUELOS-Y-AGUAS.PDF](https://www.researchgate.net/profile/Sandra-Montenegro-3/publication/341199431_PRACTICAS_DE_BIORREMEDIACION_EN_SUELOS_Y_AGUAS/links/5eb36a2c299bf152d6a1c080/PRACTICAS-DE-BIORREMEDIACION-EN-SUELOS-Y-AGUAS.PDF)
- MORALES, A. (2021, 15 DE NOVIEMBRE). PUNO: AFECTADOS POR CONTAMINACIÓN DEL LAGO TITICACA REINICIAN HUELGA. *WAYKA*. [HTTPS://WAYKA.PE/PUNO-AFECTADOS-POR-CONTAMINACION-DEL-LAGO-TITICACA-REINICIAN-HUELGA/](https://wayka.pe/puno-afectados-por-contaminacion-del-lago-titicaca-reinician-huelga/)
- OME BARRERA, O., & ZAFRA MEJÍA, C. (2018). FACTORES CLAVE EN PROCESOS DE BIORREMEDIACIÓN PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES: UNA REVISIÓN. *REVISTA U.D.C.A ACTUALIDAD & DIVULGACIÓN CIENTÍFICA*, 21(2), 573–585. [HTTPS://DOI.ORG/10.31910/RUDCA.V21.N2.2018.1037](https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.1037)
- ORIHUELA, R. (2023). LAGO TITICACA, LA CLOACA DE PUNO. *CONVOCA*. [HTTPS://CONVOCA.PE/INVESTIGACION/LAGO-TITICACA-LA-CLOACA-DE-PUNO](https://convoqa.pe/investigacion/lago-titicaca-la-cloaca-de-puno)
- ORIHUELA, R., & RIVERA, D. (2024, 17 DE JUNIO). TITICACA: CONTAMINACIÓN PERSISTE A PESAR DE MILLONARIA INVERSIÓN EN OBRAS DE SANEAMIENTO. *CONVOCA*. [HTTPS://CONVOCA.PE/AGENDA-PROPIA/TITICACA-CONTAMINACION-PERSISTE-PESAR-DE-MILLONARIA-INVERSION-EN-OBRAS-DE-SANEAMIENTO](https://convoqa.pe/agenda-propia/titicaca-contaminacion-persiste-pesar-de-millonaria-inversion-en-obras-de-saneamiento)

- RABELO FLÓREZ, L. (2023). REVISIÓN DE BACTERIAS Y HONGOS EN DEGRADACIÓN DE HIDROCARBUROS. *REVISTA EIA*, 20(39). [HTTPS://DOI.ORG/10.24050/REIA.V20I39.1622](https://doi.org/10.24050/reia.v20i39.1622)
- RPP NOTICIAS. (2020, 2 DE MARZO). CONOCE A MARINO MORIKAWA, EL PERUANO QUE LIMPIA EL LAGO TITICACA. [HTTPS://RPP.PE/CAMPANAS/EVENTO/MARINO-MORIKAWA-NUUESTRO-LAGO-TITICACA-ESTA-MURIENDO-DIA-A-DIA-NOTICIA-1249039](https://rpp.pe/campanas/evento/marino-morikawa-nuestro-lago-titicaca-esta-muriendo-dia-a-dia-noticia-1249039)
- SÁNCHEZ ARAUJO, V. G., PALOMINO PASTRANA, P. A., & MALPARTIDA YAPIAS, R. J. (2021). EFICIENCIA DE HUMEDALES ARTIFICIALES DE TOTORA Y BERROS SOBRE EFLUENTES DE GRANJA PORCÍCOLA, PERÚ. *REVISTA ALFA*, 5(14), 192–203. [HTTPS://DOI.ORG/10.33996/REVISTAALFA.V5I14.110](https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i14.110)
- SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ. (2023, 31 DE OCTUBRE). ANÁLISIS DE DÉFICIT DE LLUVIAS EN EL DEPARTAMENTO DE PUNO, PERIODOS 2022/2024. [HTTPS://CDN.WWW.GOB.PE/UPLOADS/DOCUMENT/FILE/5372016/4809481-RESUMEN-EJECUTIVO-04\\_INFORME-SENAMHI-DMA-DHI-DAM\\_DEFICIT-PUNO-31OCT2023-F.PDF](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5372016/4809481-resumen-ejecutivo-04_informe-senamhi-dma-dhi-dam_deficit-puno-31oct2023-f.pdf)
- SHAMA, E. H., & GAZI-KHAN, L. (2025). LIMITATIONS AND CHALLENGES OF BIOREMEDIATION APPROACH: ALTERNATIVE SOLUTIONS. EN A. L. SRIVASTAV, I. ZINICOVSCAIA, & L. CEPPOI (EDS.), *BIOTECHNOLOGIES FOR WASTEWATER TREATMENT AND RESOURCE RECOVERY* (PP. 147–157). ELSEVIER. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/B978-0-443-27376-6.00023-2](https://doi.org/10.1016/B978-0-443-27376-6.00023-2)
- TRENTINI, A. M., QUADRO, M. S., FERRERO, M. A., & GROPPA, M. D. (2017). BIOREMEDIATION OF WATER CONTAMINATED WITH HEAVY METALS USING *CHLORELLA VULGARIS* IMMOBILIZED IN ALGinate BEADS. *ENVIRONMENTAL POLLUTION*, 231(1), 854–862. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.ENVPOL.2017.08.087](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.08.087)
- VACA, M. (2011, 15 DE JULIO). EL LAGO TITICACA, UNA MARAVILLA CONTAMINADA. *BBC NEWS MUNDO*. [HTTPS://WWW.BBC.COM/MUNDO/NOTICIAS/2011/07/110715\\_BOLIVIA\\_CONTAMINACION\\_TITICACA\\_FP](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2011/07/110715_bolivia_contaminacion_titicaca_fp)
- VELA, N. G., GUAMÁN, M. B., & GONZÁLEZ, N. R. (2019). BIORREMEDIACIÓN EFICIENTE DE EFLUENTES METALÚRGICOS UTILIZANDO MICROALGAS DE LA AMAZONÍA Y LOS ANDES DEL ECUADOR. *REVISTA INTERNACIONAL DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL*, 35(4), 917–929. [HTTPS://DOI.ORG/10.20937/RICA.2019.35.04.11](https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.04.11)

# Uso de los gases de combustión orgánica para la generación de energía en la industria metalúrgica

Sr. Nicolás Alonso Aliaga Escalante  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Correo electrónico: nicolas.aliagae@unmsm.edu.pe

Sr. Adryan Alexis Castro Ramos  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Correo electrónico: adryan.castror@unmsm.edu.pe

Sr. Ricardo Aldo del Pino Orihuela  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Correo electrónico: ricardo.delpinoo@unmsm.edu.pe

Sr. Josías Aníbal Huamán Ortiz  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Correo electrónico: josias.huamano@unmsm.edu.pe

Sr. Antonio Valentino Ríos Siles  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Correo electrónico: antonio.rioss@unmsm.edu.pe

**Resumen:** La industria metalúrgica figura entre los sectores con mayor consumo energético y con importantes emisiones asociadas al uso de combustibles y a la pérdida de calor residual. En este contexto, el manejo energético de los gases de combustión orgánica se presenta como una alternativa orientada a recuperar energía, reducir emisiones contaminantes y fortalecer la sostenibilidad industrial. El objetivo del presente artículo es argumentar la viabilidad del aprovechamiento energético de estos gases en la industria metalúrgica. A partir del ensayo base, se identifican como principales aportes la recuperación de energía térmica residual, la reducción de la huella de carbono, la disminución de emisiones fugitivas, la menor dependencia de fuentes intensivas en carbono y la valorización de residuos orgánicos con fines energéticos. Los resultados revisados muestran que tecnologías como los ciclos Rankine orgánicos, los sistemas con dióxido de carbono supercrítico, la combustión en bucle químico, la gasificación en bucle químico y la digestión anaerobia ofrecen oportunidades concretas para mejorar la eficiencia energética y reducir el impacto ambiental. Se concluye que el uso de gases de combustión orgánica en la industria metalúrgica es favorable porque articula innovación tecnológica, ahorro energético y responsabilidad ambiental empresarial.

**Palabras clave:** Industria metalúrgica/ Gases de combustión/ Eficiencia energética/ Huella de carbono/ Sostenibilidad.

**Abstract:** The metallurgical industry is among the sectors with the highest energy consumption and significant emissions associated with fuel use and residual heat losses. In this context, the energy management of organic combustion gases emerges as an alternative aimed at recovering energy, reducing pollutant emissions, and strengthening industrial sustainability. The aim of this article is to argue the feasibility of the energy

use of these gases in the metallurgical industry. Based on the original essay, the main contributions identified are residual thermal energy recovery, carbon footprint reduction, mitigation of fugitive emissions, lower dependence on carbon-intensive sources, and the valorization of organic waste for energy purposes. The reviewed results show that technologies such as organic Rankine cycles, supercritical carbon dioxide systems, chemical looping combustion, chemical looping gasification, and anaerobic digestion provide concrete opportunities to improve energy efficiency and reduce environmental impact. It is concluded that the use of organic combustion gases in the metallurgical industry is beneficial because it links technological innovation, energy savings, and corporate environmental responsibility.

**Keywords:** Metallurgical industry/ Combustion gases/ Energy efficiency/ Carbon footprint/ Sustainability.

**Résumé :** L'industrie métallurgique figure parmi les secteurs les plus énergivores et les plus polluants, notamment en raison de l'utilisation de combustibles et des pertes de chaleur résiduelle. Dans ce contexte, la valorisation énergétique des gaz de combustion organiques apparaît comme une alternative permettant de récupérer de l'énergie, de réduire les émissions polluantes et de renforcer la durabilité industrielle. Cet article vise à démontrer la faisabilité de l'exploitation de l'énergie contenue dans ces gaz au sein de l'industrie métallurgique. L'étude de référence a permis d'identifier les principaux avantages suivants : récupération de l'énergie thermique résiduelle, réduction de l'empreinte carbone, diminution des émissions fugitives, moindre dépendance aux énergies fossiles et valorisation énergétique des déchets organiques. Les résultats analysés montrent que des technologies telles que les cycles de Rankine organiques, les systèmes au dioxyde de carbone supercritique, la combustion en boucle chimique, la gazéification en boucle chimique et la digestion anaérobie offrent des perspectives concrètes pour améliorer l'efficacité énergétique et réduire l'impact environnemental. En conclusion, l'utilisation des gaz de combustion organiques dans l'industrie métallurgique est avantageuse car elle allie innovation technologique, économies d'énergie et responsabilité environnementale des entreprises.

**Mots-clés :** Industrie métallurgique/ Gaz de combustion/ Efficacité énergétique/ Empreinte carbone/ Durabilité.

## 1. Introducción

La industria metalúrgica destaca por su elevada demanda energética y por la generación de emisiones asociadas a la combustión de materiales y al funcionamiento de procesos térmicos intensivos. El ensayo original plantea que, durante la última década, se han desarrollado múltiples tecnologías para mejorar el aprovechamiento energético y reducir el impacto ambiental derivado del uso de combustibles orgánicos en este sector.

En esa línea, el manejo energético de los gases de combustión orgánica puede entenderse como una estrategia orientada a recuperar calor residual, reutilizar subproductos gaseosos y disminuir la liberación directa de dióxido de carbono y otros contaminantes a la atmósfera. De acuerdo con el documento base, esta alternativa no solo favorece el ahorro energético, sino que también promueve responsabilidad ambiental empresarial y sostenibilidad industrial.

A partir de este planteamiento, la interrogante central del trabajo es la siguiente: ¿qué tan factible es aplicar tecnologías para la reutilización energética de gases de combustión orgánica en la industria metalúrgica? En función de ello, el objetivo del artículo es argumentar la viabilidad del manejo energético de estos gases como una forma de reducir el impacto ambiental y optimizar recursos dentro de la industria metalúrgica.

Para sostener esta postura, el ensayo desarrolla argumentos vinculados con la recuperación de energía térmica residual, la disminución de emisiones fugitivas y de la huella de carbono, la reducción de dependencia de fuentes intensivas en carbono, la optimización de costos y la valorización energética de residuos orgánicos.

## **2. Material y métodos**

El presente trabajo corresponde a una revisión argumentativa y descriptiva elaborada a partir del documento "Uso de los gases de combustión orgánica para la generación de energía en la industria metalúrgica". Para su adecuación, se analizaron la introducción, los argumentos desarrollados por los autores y la lista de referencias incorporada en el archivo original.

Posteriormente, el contenido fue reorganizado según el formato de artículo exigido por la revista Ciencias e Ingeniería, que contempla las secciones: Introducción, material y métodos, resultados, discusión, agradecimiento, conclusiones y literatura citada. Asimismo, se aplicó una presentación compatible con APA 7 en el documento Word final.

## **3. Resultados**

### **Recuperación de energía térmica residual**

Uno de los ejes más relevantes del ensayo es la recuperación del calor residual generado en los procesos metalúrgicos. El texto plantea que una parte importante de la energía utilizada por la industria se pierde en forma de gases calientes y que su reaprovechamiento puede traducirse en electricidad útil y en una mejora de la eficiencia energética global.

En este punto, se destacan los ciclos Rankine orgánicos como una tecnología prometedora para convertir calor residual de baja, media y alta temperatura en energía aprovechable. Esta propuesta se presenta como una solución viable para disminuir emisiones y reducir desperdicios energéticos en plantas metalúrgicas.

## **Tecnologías de recuperación aplicadas**

El ensayo menciona varias tecnologías orientadas a reutilizar el calor y los gases de combustión, entre ellas recuperadores, regeneradores, economizadores, calderas de recuperación y sistemas ORC. Estas herramientas muestran que el sector metalúrgico dispone de alternativas concretas para transformar pérdidas energéticas en oportunidades de optimización.

Asimismo, se analiza la evolución de algunas de estas tecnologías hacia sistemas con dióxido de carbono supercrítico, las cuales ofrecen mayores capacidades de generación, mejor rendimiento térmico y menor tamaño físico. En consecuencia, el documento sugiere que la modernización tecnológica favorece tanto la autonomía energética como la sostenibilidad industrial.

## **Huella de carbono y emisiones fugitivas**

Otro aporte central del texto es la reducción de la huella de carbono mediante una gestión más responsable de los gases generados en los procesos industriales. El ensayo explica que las empresas con mayor control sobre sus emisiones pueden mejorar su desempeño ambiental y asumir una cultura de responsabilidad social frente al cambio climático.

En esa misma línea, se examina el problema de las emisiones fugitivas y no controladas, asociadas a sectores intensivos en gas y combustibles. Su mitigación exige tecnologías de filtrado, regulación y aprovechamiento energético capaces de evitar que estos subproductos lleguen directamente al ambiente.

## **Reducción de dependencia energética intensiva en carbono**

El texto sostiene que reutilizar gases y calor residual contribuyen a disminuir la dependencia de fuentes energéticas intensivas en carbono. Esta transformación se asocia con mayor eficiencia energética, reducción del consumo externo y fortalecimiento de cadenas de suministro más limpias y resilientes.

Para comprender esta relación, el ensayo incorpora el enfoque de alcances 1, 2 y 3 en la medición de la huella de carbono. Ello permite reconocer que la reducción de emisiones puede abordarse desde las fuentes directas, la energía consumida y el ciclo de vida completo de productos e insumos.

## **Valorización de residuos orgánicos y energía renovable**

El documento también presenta la valorización de residuos orgánicos como una oportunidad para generar energía renovable y reducir costos en la industria. A través de procesos como la digestión anaerobia, estos residuos pueden convertirse en biogás y electricidad, lo que amplía el aprovechamiento energético más allá del calor residual.

Además, se describen otras alternativas como la obtención de compost, biochar, furfural o incluso papel ecológico a partir de residuos orgánicos. Estas propuestas amplían la lógica de la economía circular al transformar desechos en productos con valor económico y ambiental.

### **Captura y reducción de dióxido de carbono**

Finalmente, el ensayo incorpora tecnologías como la combustión en bucle químico y la gasificación en bucle químico como herramientas para reducir el dióxido de carbono emitido por la industria metalúrgica. Su principal ventaja radica en permitir la captura más eficiente del CO<sub>2</sub> sin mezclarlo con otros gases en combustión convencional.

El texto presenta estas tecnologías como innovaciones con alto potencial para disminuir emisiones, mejorar la eficiencia y promover un impacto ambiental positivo. En consecuencia, la reducción del CO<sub>2</sub> aparece como uno de los pilares que justifican la factibilidad del manejo energético de gases de combustión orgánica.

### **4. Discusión**

Los resultados del ensayo muestran que el aprovechamiento energético de los gases de combustión orgánica tiene implicancias técnicas, económicas y ambientales para la industria metalúrgica. Su valor no radica únicamente en recuperar energía que normalmente se pierde, sino también en reducir emisiones y facilitar una transición hacia procesos industriales más sostenibles.

El documento también evidencia que la innovación tecnológica desempeña un papel decisivo en esa transición. Sistemas como ORC, sCO<sub>2</sub>, CLC, BCLG y digestión anaerobia representan alternativas que pueden integrarse de manera progresiva según el tipo de planta, el nivel de modernización y la disponibilidad de recursos.

No obstante, la implementación de estas soluciones requiere inversión inicial, actualización de procesos y compromiso institucional. Por ello, la viabilidad del manejo energético de gases de combustión no depende solo de la existencia de tecnologías, sino también de la voluntad empresarial y de políticas que promuevan eficiencia, monitoreo y reducción de emisiones.

En conjunto, el ensayo permite afirmar que la industria metalúrgica puede convertir una fuente tradicional de impacto ambiental en una oportunidad de innovación y sostenibilidad. Esto fortalece la idea de que la recuperación y reutilización de gases de combustión constituyen una estrategia coherente con la economía circular y con la responsabilidad ambiental contemporánea.

## 5. Agradecimiento

Se agradece a la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, a la Facultad de Química e Ingeniería Química y al curso de Redacción por promover el análisis crítico de problemáticas vinculadas con energía, industria y sostenibilidad ambiental.

## 6. Conclusiones

El manejo energético de los gases de combustión orgánica en la industria metalúrgica constituye una alternativa favorable porque permite recuperar energía térmica residual, optimizar recursos y reducir la liberación de contaminantes al ambiente.

Las tecnologías revisadas en el ensayo muestran que es posible avanzar hacia procesos metalúrgicos más eficientes mediante la reutilización del calor residual, la captura de dióxido de carbono y la valorización energética de residuos orgánicos.

Asimismo, el aprovechamiento de estos gases fortalece la autonomía energética de las industrias y puede traducirse en reducción de costos operativos, menor dependencia de combustibles intensivos en carbono y mejor desempeño ambiental empresarial.

En consecuencia, la aplicación de estrategias de recuperación y reutilización energética en la industria metalúrgica no solo es técnicamente viable, sino también necesaria para impulsar sostenibilidad, innovación y responsabilidad ambiental a largo plazo.

## 7. Literatura citada

BAGLIETTO, E., ET AL. (2022). ORC AND sCO<sub>2</sub> TECHNOLOGIES CAN TURN HIGH TEMPERATURE EXHAUST GASES INTO USABLE POWER, GIVING HEAVY INDUSTRIES GREATER INDEPENDENCE FROM EXTERNAL ENERGY SOURCES.

CASTILLO, L. A., & ROJAS, I. M. (2020). USO DEL BIOGÁS EN EL SECTOR INDUSTRIAL Y SU RENTABILIDAD ECONÓMICA.

CENTRO NACIONAL DE PLANEAMIENTO ESTRATÉGICO. (2023). INCREMENTO DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI). OBSERVATORIO NACIONAL DE PROSPECTIVA. [HTTPS://OBSERVATORIO.CEPLAN.GOB.PE/FICHA/T62](https://observatorio.ceplan.gob.pe/ficha/t62)

CHRISPIM, M. C., SCHOLZ, M., & NOLASCO, M. A. (2023). BIOGAS RECOVERY FOR SUSTAINABLE CITIES: A CRITICAL REVIEW OF ENHANCEMENT TECHNIQUES AND KEY LOCAL CONDITIONS FOR IMPLEMENTATION. *SUSTAINABLE CITIES AND SOCIETY*, 72, 103033. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.SCS.2021.103033](https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103033)

COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. (2010). MANUAL PARA EL CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO INSTITUCIONAL (NOTAS DE LA CEPAL N.º 66). [HTTPS://REPOSITORIO.CEPAL.ORG/SERVER/API/CORE/BITSTREAMS/5E0A7D7C-98BF-4678-8136-6C34BC9E2EBF/CONTENT](https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/5e0a7d7c-98bf-4678-8136-6c34bc9e2ebf/content)

- CONDORI, J. (2021). GASIFICACIÓN DE BUCLE QUÍMICO Y PRODUCCIÓN DE SYNGAS COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA.
- CUI, X. (2025). ADVANCES IN ENERGY UTILIZATION IN METALLURGICAL INDUSTRY.
- DOMÍNGUEZ, ET AL. (2023). EVOLUTION FROM ORC TO sCO<sub>2</sub> CYCLES IN INDUSTRIAL ENERGY RECOVERY.
- GHOSH, D. (2022). FUGITIVE EMISSIONS IN INDUSTRIAL PLANTS AND ENVIRONMENTAL REGULATION.
- HUAMÁN BOCANEGRA, G. G., & TAPIA PAZ, Y. F. (2020). APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS AGROINDUSTRIALES PARA LA ELABORACIÓN DE PAPEL ECOLÓGICO: REVISIÓN SISTEMÁTICA [TESIS DE PREGRADO, UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO]. REPOSITORIO INSTITUCIONAL UCV. [HTTPS://REPOSITORIO.UCV.EDU.PE/HANDLE/20.500.12692/60231](https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/60231)
- JAFARI, M., KHAN, M. I., AL-GHAMDI, S. G., JAWORSKI, A. J., & ASFAND, F. (2023). WASTE HEAT RECOVERY IN IRON AND STEEL INDUSTRY USING ORGANIC RANKINE CYCLES. CHEMICAL ENGINEERING JOURNAL, 477, 146925. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.CEJ.2023.146925](https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.146925)
- JINDO, K., SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A., MASTROLONARDO, G., AUDETTE, Y., HIGASHIKAWA, F. S., SILVA, C. A., & MONDINI, C. (2020). ROLE OF BIOCHAR IN PROMOTING CIRCULAR ECONOMY IN THE AGRICULTURE SECTOR. PART 2: A REVIEW OF THE BIOCHAR ROLES IN GROWING MEDIA, COMPOSTING AND AS SOIL AMENDMENT. CHEMICAL AND BIOLOGICAL TECHNOLOGIES IN AGRICULTURE, 7, ARTICLE 16. [HTTPS://DOI.ORG/10.1186/S40538-020-00179-3](https://doi.org/10.1186/s40538-020-00179-3)
- JOUHARA, H., ET AL. (2021). HEAT RECOVERY OPPORTUNITIES FOR ENERGY OPTIMISATION IN THE STEEL AND IRON INDUSTRY.
- LECOMPTE, S., ET AL. (2017). VIABILITY OF ORC INTEGRATION IN ELECTRIC ARC FURNACES FOR WASTE HEAT RECOVERY.
- LÓPEZ, J. A., & MARTÍNEZ, P. (2017). APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES EN COLOMBIA. REVISTA INVESTIGACIONES AGROINDUSTRIALES Y AMBIENTALES, 6(2), 45–60. [HTTPS://WWW.REDALYC.ORG/JOURNAL/3442/344271354013/HTML/](https://www.redalyc.org/journal/3442/344271354013/html/)
- MANSILLA SOTO, L. P. (2024). EMISIONES DE CO<sub>2</sub> INDUSTRIAL: ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE UN SISTEMA DE CAPTURA Y UTILIZACIÓN (CCU) [TRABAJO DE TITULACIÓN, UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA]. REPOSITORIO INSTITUCIONAL UTFSM. [HTTPS://REPOSITORIO.USM.CL/SERVER/API/CORE/BITSTREAMS/F1CAD236-CD6F-4684-A567-A74159BF1039/CONTENT](https://repositorio.usm.cl/server/api/core/bitstreams/f1cad236-cd6f-4684-a567-a74159bf1039/content)
- MATTISSON, T., HILDOR, F., LI, Y., & LINDERHOLM, C. (2020). BIOENERGY WITH CARBON CAPTURE AND STORAGE (BECCS): THE PROSPECTS OF A BIO-CCS PLANT IN SWEDEN. MITIGATION AND ADAPTATION STRATEGIES FOR GLOBAL CHANGE, 25(5), 849–869. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/S11027-019-09860-X](https://doi.org/10.1007/s11027-019-09860-x)

- MINEA, A. A. (2023). ORGANIC RANKINE CYCLES AS A PROMISING TECHNOLOGY FOR INDUSTRIAL WASTE HEAT RECOVERY.
- MINEA, A. A., ET AL. (2024). WASTE HEAT IN THE IRON AND STEEL INDUSTRY AND ITS GLOBAL RELEVANCE.
- MONTAÑO MUÑOZ, G. (2021). MEDICIÓN DE HUELLA DE CARBONO Y TRANSPARENCIA EMPRESARIAL.
- OBSERVATORIO CEPLAN. (2023). EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN EL PERÚ.
- RAMÍREZ, J., & MUÑOZ, P. (2016). RESPONSABILIDAD AMBIENTAL EMPRESARIAL Y CONSUMIDORES SOSTENIBLES.
- RESEARCH AND MARKETS. (2024). GLOBAL ORC MARKET IN THE METALLURGICAL INDUSTRY.
- REYES, J. M., & BARRENECHEA RAMÍREZ, S. (2022). DIGESTIÓN ANAEROBIA Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS EN EL SECTOR AGROINDUSTRIAL Y AGROPECUARIO.
- SONG, S., LIM, J. W., LEE, J. T. E., CHEONG, J. C., HOY, S. H., HU, Q., TAN, J. K. N., CHIAM, Z., ARORA, S., LUM, T. Q. H., LIM, E. Y., WANG, C.-H., TAN, H. T. W., & TONG, Y. W. (2021). FOOD-WASTE ANAEROBIC DIGESTATE AS A FERTILIZER: THE AGRONOMIC PROPERTIES OF UNTREATED DIGESTATE AND BIOCHAR-FILTERED DIGESTATE RESIDUE. *WASTE MANAGEMENT*, 136, 143–152. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.WASMAN.2021.10.011](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.10.011)
- SZWAJA, S., ZAJEMSKA, M., SZWAJA, M., ET AL. (2023). INTEGRATION OF WASTE BIOMASS THERMAL PROCESSING TECHNOLOGY WITH A METALLURGICAL FURNACE TO IMPROVE ITS EFFICIENCY AND ECONOMIC BENEFIT. *CLEAN TECHNOLOGIES AND ENVIRONMENTAL POLICY*, 25, 577–587. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/S10098-021-02195-9](https://doi.org/10.1007/s10098-021-02195-9)
- VELÁSQUEZ-PIÑAS, ET AL. (2023). GESTIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS Y PRODUCCIÓN DE BIOGÁS CON FINES ENERGÉTICOS.
- WEI, R., MENG, K., LARGO, H., & XU, C. C. (2024). BIOMASS METALLURGY: A SUSTAINABLE AND GREEN PATH TO A CARBON-NEUTRAL METALLURGICAL INDUSTRY. *RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS*, 186, 114475. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.RSER.2024.114475](https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114475)
- ZHANG, J., SHEN, H., CHEN, Y., MENG, J., LI, J., HE, J., GUO, P., DAI, R., ZHANG, Y., XU, R., WANG, J., ZHENG, S., LEI, T., SHEN, G., WANG, C., YE, J., ZHU, L., SUN, H. Z., FU, T.-M., YANG, X., GUAN, D., & TAO, S. (2023). IRON AND STEEL INDUSTRY EMISSIONS: A GLOBAL ANALYSIS OF TRENDS AND DRIVERS. *ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY*, 57(43), 16477–16488. [HTTPS://DOI.ORG/10.1021/ACS.EST.3C05474](https://doi.org/10.1021/acs.est.3c05474)
- ZHU, X., IMTIAZ, Q., DONAT, F., MÜLLER, C. R., & LI, F. (2020). CHEMICAL LOOPING BEYOND COMBUSTION: A PERSPECTIVE. *ENERGY & ENVIRONMENTAL SCIENCE*, 13(3), 772–804. [HTTPS://DOI.ORG/10.1039/C9EE03793D](https://doi.org/10.1039/C9EE03793D)

## El rol de la ingeniería química en la economía circular: ¿Permite una simbiosis industrial sostenible?

Srta. Yoselin Estefany Álvarez Cueva  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Correo electrónico: yoselin.alvarezc@unmsm.edu.pe

Dra. Julissa Marleni Icho Yacupoma  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Correo electrónico: jichoy@unmsm.edu.pe

**Resumen:** Hoy en día nos encontramos afectados por la escasez de los recursos naturales; pero con un aumento de residuos. En este contexto la economía circular es definida como un sistema que se inspira en la naturaleza, en el cual, el concepto de desperdicio no se hace presente, ya que al igual que todo ecosistema natural donde todo lo que se produce es insumo para otro. Pues, busca mantener productos y materiales en flujo constante, a través de sus principales pilares el reciclaje y la reutilización, y con ello romper con el paradigma de la economía lineal o tradicional (Naciones Unidas, 2018; Ellen MacArthur Foundation, 2017). Es decir, es modelo de producción, la cual busca limitar la generación de nuevos residuos y de esta manera contribuir con la sostenibilidad del medio ambiente. Además, el papel de la ingeniería química es básica para el avance de la implementación de la economía circular, ya que, según Morales y Castillo (2024), la ingeniería química al tener como eje el diseño y optimización de procesos químicos y biológicos a nivel industrial; desempeña un papel crucial dentro de la economía circular mediante el desarrollo y aprovechamiento de energías renovables, la reducción y valoración de residuos, entre otros. En otras palabras, la ingeniería química la fusiona

**Palabras clave:** Ingeniería química/ Economía circular/ Simbiosis industrial/ Sostenibilidad/ Valorización de residuos.

**Abstract:** Explores the challenges of recent years. Today, we find ourselves facing the challenges of scarce natural resources coupled with an increase in waste. In this context, the circular economy, defined as a system inspired by nature, eliminates the concept of waste, as it operates like any natural ecosystem where everything produced becomes input for another. It seeks to maintain a constant flow of products and materials through its main pillars: recycling and reuse, thereby breaking with the paradigm of the linear or traditional economy (United Nations, 2018; Ellen MacArthur Foundation, 2017). In other words, it is a production model that aims to limit the generation of new waste and thus contribute to environmental sustainability. Furthermore, chemical engineering plays a fundamental role in advancing the implementation of the circular economy. According to Morales and Castillo (2024), chemical engineering, with its focus on the design and optimization of chemical and biological processes at an industrial level, plays a crucial role in the circular economy through the development and utilization

of renewable energies, waste reduction and valorization, among other things. In other words, chemical engineering, by merging

**Keywords:** Chemical engineering/ Circular economy/ Industrial symbiosis/ Sustainability/ Waste valorization.

**Résumé:** Nous explorons les défis de ces dernières années. Aujourd'hui, nous sommes confrontés à la raréfaction des ressources naturelles et à l'augmentation des déchets. Dans ce contexte, l'économie circulaire, définie comme un système inspiré par la nature, élimine la notion de déchet, fonctionnant comme un écosystème naturel où tout produit devient un intrant pour un autre. Elle vise à maintenir un flux constant de produits et de matériaux grâce à ses piliers principaux : le recyclage et la réutilisation, rompant ainsi avec le paradigme de l'économie linéaire ou traditionnelle (Nations Unies, 2018 ; Fondation Ellen MacArthur, 2017). Autrement dit, il s'agit d'un modèle de production qui vise à limiter la production de nouveaux déchets et contribue ainsi à la durabilité environnementale. De plus, le génie chimique joue un rôle fondamental dans la mise en œuvre de l'économie circulaire. Selon Morales et Castillo (2024), le génie chimique, de par son intérêt pour la conception et l'optimisation des procédés chimiques et biologiques à l'échelle industrielle, joue un rôle crucial dans l'économie circulaire, notamment grâce au développement et à l'utilisation des énergies renouvelables, à la réduction et à la valorisation des déchets. Autrement dit, le génie chimique, en combinant

**Mots-clés:** Génie chimique/ Économie circulaire/ Symbiose industrielle/ Durabilité/ Valorisation des déchets.

## 1. Introducción

En el presente texto argumentativo "El rol de la ingeniería química en la economía circular: ¿permite una simbiosis industrial sostenible?" en los últimos años. Hoy en día nos encontramos perjudicados por la escasez de los recursos naturales; pero con un aumento de residuos. En este contexto, la economía circular es definida como un sistema que se inspira en la naturaleza, en el cual, el concepto de desperdicio no se hace presente, ya que al igual que todo ecosistema natural, todo lo que se produce es insumo para otro. Pues, busca mantener productos y materiales en flujo constante, a través de sus principales pilares el reciclaje y la reutilización, y con ello romper con el paradigma de la economía lineal o tradicional (Naciones Unidas, 2018; Ellen MacArthur Foundation, 2017). Es decir, es modelo de producción, la cual, busca limitar la generación de nuevos residuos y de esta manera contribuir con la sostenibilidad del medio ambiente. Además, el papel de la ingeniería química es básica para el avance de la implementación de la economía circular, ya que, según Morales y Castillo (2024), la ingeniería química al tener como eje el diseño y optimización de procesos químicos y biológicos a nivel industrial, desempeña un papel crucial dentro de la economía circular mediante el desarrollo y aprovechamiento de energías renovables, la reducción y valoración de residuos, entre otros. En otras palabras, la ingeniería química al fusionar la ciencia con la economía, logra crear y mejorar procesos industriales con el fin de impulsar energía limpia y mi-

nimizar los residuos, los cuales pueden ser usados como insumos por otra industria de la que proviene, facilitando la simbiosis sostenible entre las diferentes industrias. A raíz de ello, se propone la siguiente problemática: ¿De qué manera el rol de la ingeniería química influye en el desarrollo de la economía circular para una simbiosis industrial sostenible? Debido a que muchos de los residuos generados por las diferentes industrias terminan en vertederos, lugares donde no reciben el tratamiento correspondiente para cerrar el ciclo del producto, lo cual, tiene un impacto ambiental y con ello daños a la salud de las personas. En función a ello, se tiene como objetivo: Explicar la aplicación de la ingeniería química sobre la economía circular permitiendo el desarrollo de la simbiosis industrial sostenible. Por ello, el rol de la ingeniería química en la economía circular resulta favorable para el desarrollo de la simbiosis industrial puesto que facilita la optimización de recursos industriales y reduce la circulación de gases de efecto invernadero. Ya que, ayuda a combatir directamente la contaminación ambiental, mediante la reducción de producción de residuos, pues si se cambia el método de fabricación se podría disminuir hasta el 40% de las emisiones de contaminantes de las industrias para el 2050 (ONU, 2021). De esta manera, se muestra el real impacto del modelo contra el cambio climático, puesto que, no sería una opción ecológica sino una necesidad para el desarrollo de una industria sostenible. Teniendo como finalidad, concientizar cómo el rol de la ingeniería química en conjunto con la economía circular influye en el desarrollo de la simbiosis industrial sostenible. A continuación, se desarrollarán los siguientes respaldos como la reducción de uso de recursos naturales no renovables, aprovechamiento de recursos industriales, diseño de procesos para el cierre de ciclo del producto, lixiviación selectiva, biogás y la despolimerización.

## **2. Material y métodos**

El trabajo corresponde a un ensayo argumentativo de revisión documental. La argumentación se sustenta en fuentes institucionales, académicas y de divulgación científica citadas en el texto original, orientadas a explicar el papel de la ingeniería química en la economía circular y su relación con la simbiosis industrial sostenible. El procedimiento de análisis organiza la información en ejes temáticos: reducción del uso de recursos no renovables, aprovechamiento de recursos industriales, lixiviación selectiva, producción de biogás y despolimerización/biodegradación de residuos.

## **3. Resultados**

En primer lugar, el rol de la ingeniería química en la economía circular resulta favorable para el desarrollo de la simbiosis industrial por medio de la reducción de uso de recursos naturales no renovables. Considerando que, la economía circular busca reducir la implementación de materias primas no renovables, cuya demanda aumenta (por el crecimiento poblacional) mientras que su disponibilidad disminuye, puesto que, muchas de ellas son limitadas (Parlamento Europeo, 2023). Es decir, la economía circular es clave para enfrentar el aumento de la población, lo que trae consigo la escasez de recursos naturales no renovables, los cuales se encuentran de manera limitada en el ambiente. Además, esta situación no solo representa un riesgo económico, sino tam-

bién compromete la sostenibilidad a largo plazo. Por ello, el reciclaje es presentado como una solución factible para la recuperación de materiales, reducir la presión sobre la extracción de recursos naturales, sin perder el enfoque de garantizar el acceso a insumos necesarios para tecnología limpia y eficiente. Sin embargo, a pesar de que la economía circular se presenta como una solución frente a esta problemática, su aplicación aún sigue siendo insuficiente, ya que confiar solo en el reciclaje no resuelve el problema, pues si no hay cambio profundo por parte del sistema operativo, para ello se requiere mayor compromiso y acción concreta. De igual manera, el aprovechamiento de recursos industriales en la economía circular mediante el rol de la ingeniería química es favorable para la cooperación sostenible industrial. Dado que, la optimización de recursos industriales busca mejorar el uso de materiales, reduciendo desperdicios a través de procesos más limpios, priorizando el uso de materiales sostenibles, también promoviendo el diseño de producción que facilite la reutilización, para minimizar los residuos y aprovechar los insumos; así mismo, se realizan técnicas de cierre de ciclos productivos al recuperar y reutilizar los recursos (Alcázar, 2022; Vera et al., 2024). Entonces, la economía circular promueve el uso de manera eficiente y sostenible de recursos, sin la necesidad de extraer nuevos materiales debido al cierre de los ciclos productivos, impulsando los materiales biodegradables que al finalizar su ciclo puedan reintegrarse al ambiente, como también la tecnología manufactura avanzada permite fabricar productos con menos desperdicios y menor energía, agua y materias primas, y de esta manera optimizar la gestión de recursos industriales. La economía circular propone un modelo opuesto al lineal, el cual su prioridad son los productos que permitan su reparación y reciclaje. Según Martínez (2023), a diferencia de la economía lineal que extrae y desecha, la circular busca cerrar el ciclo productivo, con la finalidad de usar menos la materia prima no renovable al regenerar los recursos teniendo un enfoque integral promoviendo una producción sostenible (p.10). En otras palabras, la economía circular favorece una producción más eficiente y sostenible, ya que su objetivo es cerrar el ciclo de producción y disminuir el uso de recursos no renovables. Si bien, la economía circular optimiza el uso de recursos, su implementación requiere de cambios en modelos de producción, lo que significa una inversión significativa, lo que conlleva al compromiso real del sector industrial. Por su parte, el reciclaje y la reutilización en la economía circular dentro del rol de la ingeniería química es favorable para la asociación sostenible industrial. Para poder avanzar como sociedad y para que las opciones circulares en realidad empiecen con el cambio es necesario dejar el pensamiento contemporáneo, por ello, las empresas pueden optar por modelos circulares donde se pueda aprovechar el reciclaje y la restauración, en conjunto con los consumidores que por su parte puedan optar por productos ecológicos y reutilizables, ya que estas elecciones pueden reducir el impacto ambiental y tener un desarrollo industrial sostenible (Morales & Castillo, s.f). Siguiendo estas líneas, al implementar un modelo de negocio circular enfocados en el reciclaje y la restauración, permitirá el aprovechamiento de los recursos al máximo y disminuirá la generación de residuos, lo cual contribuirá a una economía más limpia y eficiente por medio de decisiones más responsable. Por otro lado, la lixiviación selectiva en la economía circular dentro del rol de la ingeniería química es favorable para el desarrollo de la contribución sostenible de las industrias. La industria minera al ser uno de los sectores más importantes en la economía, ya que, otros sectores dependen de esta, por lo que en la actualidad muchos de los minerales

se encuentran escasos o su obtención es difícil porque presentan poca rentabilidad, debido a la complejidad de muchos minerales. Por ello, sería factible aprovechar el residuo EAFD empleando una vía hidrometalúrgica con la presencia de un agente orgánico como lixivante, pues a diferencia del ácido nítrico, el citrato permite extraer de forma selectiva el metal deseado en condiciones más suaves (Borda et al. 2020), es decir, la hidrometalurgia vendría a ser una técnica innovadora para la extracción de metales, que a diferencia de los métodos tradicionales (Pirometalurgia) es más amigable con el medio ambiente. Así mismo, gracias al avance de los ingenieros químicos, la hidrometalurgia es mucho más eficiente para obtener metales como el cobre, el oro, el zinc, cobalto y elementos de tierras extrañas, ya sean minerales nuevos como también residuos como relaves y chatarra electrónica. Como también, este método gasta menos energía, no produce gases tóxicos como CO<sub>2</sub> y permite reciclar el agua, el cual vendría a ser una pieza fundamental para el desarrollo de una minería sostenible. Ya que al encontrarnos en un mundo donde cada vez se necesitan más metales, ya sea la transición de energía, la hidrometalurgia es una opción valiosa, pues no solo reduce los costos de producción sino también permitiría la recuperación de recursos que antes se desechaban, lo cual sería un impulso para el desarrollo de la economía circular. De igual manera, la producción del biogás en la economía circular en conjunto al rol de la ingeniería química es viable para el desarrollo de la simbiosis industrial. En la actualidad la vida no puede ser entendida si no contamos con energía, la cual, hasta ahora es dominada por los combustibles fósiles (carbón, el petróleo y el gas), de los cuales, su extracción tiene consecuencias negativas tanto para el medio ambiente como para la salud pública. Por ello, la necesidad de aprovechamiento de energías renovables se ha vuelto una alternativa para hacer frente al cambio climático que enfrentamos hoy en día. Para el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía de España: El biogás dentro de la economía circular es fundamental como fuente de energía renovable, ya que descienden del sector agroindustrial, ganadero, estaciones depuradoras e incluso de residuos urbanos. Así mismo, el biometano obtenido del biogás puede aplicarse en diferentes sectores de la economía, como el transporte, generación de electricidad o sistemas térmicos, los cuales estarían sustituyendo a los combustibles fósiles, y favoreciendo a la transición de energía. (párr. 1) En otras palabras, el biogás es obtenido mediante la transformación de residuos orgánicos a través de la digestión anaeróbica, la cual, evita que los residuos puedan terminar en vertederos emitiendo gases contaminantes y cerrando el ciclo de los nutrientes. Por ello, el biogás es fuente clave para la energía renovable, pues también proviene de residuos agroindustriales, ganaderos, urbanos e incluso de tratamiento de aguas. Uno de sus derivados más resaltantes se tiene al biometano que se puede implementar en el transporte, la electricidad o la calefacción, y de esta manera se estarían reemplazando a los combustibles fósiles. Entonces, el biogás es una alternativa eficiente y sostenible ya que contribuye de manera activa a la gestión responsable en el energético, además, su aplicación reduce la dependencia de combustibles fósiles, aportando a la mitigación del cambio climático. Por último, la biodegradación en la economía circular dentro del rol de la ingeniería química. Es decir, los productos obtenidos mediante la biodegradación no son solo residuos, ya que se pueden considerar materias primas de alto valor por lo que se lograría volver a insertar al ciclo de producción; en lugar de fabricar nuevos polímeros desde cero usando recursos naturales que en su mayoría son derivados del petróleo. Pues, en su

lugar se puede hacer uso de componentes recuperados de polímeros ya desechados, lo cuales, estarían cerrando el ciclo y también se reduciría la necesidad de materias vírgenes; disminuiría la generación de residuos y sobre todo disminuiría la contaminación. Un ejemplo de la biodegradación. Por ejemplo (Johnson, at el. 2025). Es decir, los plásticos que usualmente se desechan (el PET), se podrían transformar en un medicamento, mediante la reorganización de Lossen. A través de procesos biocatalíticos (microorganismos realizando reacciones químicas) y la fermentación, se pasarían de plásticos a moléculas industriales. Lo cual, nos muestra una estrategia que nos permitiría convertir residuo plástico en productos valiosos, abriendo un camino hacia un futuro sostenible.

#### **4. Discusión**

Los resultados expuestos muestran que la ingeniería química aporta soluciones técnicas para cerrar ciclos de materiales y energía; sin embargo, la implementación de la economía circular no depende solo de la viabilidad tecnológica. También exige inversión, cambios en los modelos de producción, articulación entre industrias y compromiso institucional. En ese sentido, la simbiosis industrial sostenible se fortalece cuando los residuos son tratados como recursos y cuando las innovaciones de proceso se integran con políticas y decisiones empresariales de largo plazo.

#### **5. Agradecimiento**

La autora agradece a la Facultad de Química e Ingeniería Química y a la orientación académica recibida para la elaboración del presente trabajo.

#### **6. Conclusiones**

En síntesis, la ingeniería química cumple un rol esencial y versátil dentro de la economía circular, ya que permite la optimización de procesos industriales para reducir el uso de recursos no renovables y aprovechar los residuos como materia prima para otros sectores. Como es el caso de la extracción selectiva de residuos mineros o la generación de biogás a partir de desechos orgánicos, lo cual, muestra cómo esta disciplina ofrece soluciones innovadoras reduciendo los impactos ambientales, a partir del mejoramiento del uso de recursos y superando el método lineal (producir, usar y desechar). Así mismo, la participación de la ingeniería química en la economía circular es una estrategia clave para enfrentar el cambio climático, para poder avanzar hacia una industria más sostenible. Ya que, tiene la capacidad de desarrollar tecnologías avanzadas en el reciclaje, como la descomposición de plásticos en nuevas materias, logrando cerrar los ciclos productivos y minimizando los residuos. A partir, de este enfoque que no solo reduce la contaminación, sino que usa los desechos como oportunidades económicas, en beneficio del medio ambiente y la salud humana, además se estaría generando industrias resilientes y responsables con el futuro del planeta.

## 7. Literatura citada

- BBVA. (s.f). ¿QUÉ ES LA ECONOMÍA CIRCULAR? [HTTPS://WWW.BBVA.COM/ES/SOSTENIBILIDAD/QUE-ES-LA-ECONOMIA-CIRCULAR/](https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-la-economia-circular/)
- BBVA. (s.f). ¿QUÉ ES EL COMBUSTIBLE FÓSIL? LA ENERGÍA QUE SE OBTIENE DE LA MATERIA ORGÁNICA. [HT-TPS://WWW.BBVA.COM/ES/SOSTENIBILIDAD/QUE-ES-EL-COMBUSTIBLE-FOSIL-LA-ENERGIA-QUE-SE-OBTIENE-DE-LA-MATERIA-ORGANICA/](https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-combustible-fosil-la-energia-que-se-obtiene-de-la-materia-organica/)
- BANCO CENTRAL DE RESERVA DEL PERÚ (BCRP). (2023). MONEDA 195. [HTTPS://WWW.BCRP.GOB.PE/DOCS/PUBLICACIONES/REVISTA-MONEDA/MONEDA-195/MONEDA-195.PDF](https://www.bcrp.gob.pe/docs/publicaciones/revista-moneda/moneda-195/moneda-195.pdf)
- COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL). (2024.). LA ECONOMÍA CIRCULAR EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. [HTTPS://REPOSITORIO.CEPAL.ORG/SERVER/API/CORE/BITS-TREAMS/321C16C7-62EF-441D-AB18-93BFDA9276F/CONTENT](https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bits-treams/321c16c7-62ef-441d-ab18-93bfda9276f/content)
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. (N.D.). CIRCULAR ECONOMY INTRODUCTION: OVERVIEW. [HTTPS://WWW.ELLENMACARTHURFOUNDATION.ORG/TOPICS/CIRCULAR-ECONOMY-INTRODUCTION/OVERVIEW](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview)
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (s.f). TOWARDS THE CIRCULAR ECONOMY [HTTPS://WWW.AQUAFIL.COM/ASSETS/UPLOADS/ELLEN-MACARTHUR-FOUNDATION.PDF](https://www.aquafil.com/assets/uploads/ellen-macarthur-foundation.pdf)
- EL PAÍS. (2025). ECONOMÍA CIRCULAR, A TODO BIOGÁS. EL PAÍS ENERGÍA. [HTTPS://ELPAIS.COM/EXTRA/ENERGIA/2025-05-24/ECONOMIA-CIRCULAR-A-TODO-BIOGAS.HTML](https://elpais.com/extra/energia/2025-05-24/economia-circular-a-todo-biogas.html)
- EUROPARL. (2015). ECONOMÍA CIRCULAR: DEFINICIÓN, IMPORTANCIA Y BENEFICIOS. [HTTPS://WWW.EUROPARL.EUROPA.EU/TOPICS/ES/ARTICLE/20151201STO05603/ECONOMIA-CIRCULAR-DEFINICION-IMPORTANCIA-Y-BENEFICIOS](https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20151201STO05603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios)
- EUROSTAT. (s,f). MATERIAL FLOW ACCOUNTS STATISTICS - MATERIAL FOOTPRINTS: EU'S MATERIAL FOOTPRINT BY MATERIAL CATEGORY OVER TIME. [HTTPS://EC.EUROPA.EU/EUROSTAT/STATISTICS-EXPLAINED/INDEX.PHP?TITLE=MATERIAL\\_FLOW\\_ACCOUNTS\\_STATISTICS\\_-\\_MATERIAL\\_FOOTPRINTS#EU.27S\\_MATE-RIAL\\_FOOTPRINT\\_BY\\_MATERIAL\\_CATEGORY\\_OVER\\_TIME](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Material_flow_accounts_statistics_-_material_footprints#EU.27s_material_footprint_by_material_category_over_time)
- GENIABIOENERGY. (s.f.). BIOGÁS Y ECONOMÍA CIRCULAR DEL SECTOR AGRÍCOLA. [HTTPS://GENIABIOENERGY.COM/BIOGAS-Y-ECONOMIA-CIRCULAR-DEL-SECTOR-AGRICOLA/](https://geniabioenergy.com/biogas-y-economia-circular-del-sector-agricola/)
- INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA (IDAE). (s.f). TECNOLOGÍAS: ENERGÍAS RENOVABLES: USO TÉRMICO: BIOGÁS. RETRIEVED FROM [HTTPS://WWW.IDAE.ES/TECNOLOGIAS/ENERGIAS-RENOVABLES/USO-TERMICO/BIOGAS](https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-termico/biogas)
- KAIZEN. (s.f.). ECONOMÍA CIRCULAR: ANÁLISIS CICLO DE VIDA. RETRIEVED FROM [HTTPS://KAIZEN.COM/ES/INSIGHTS-ES/ECONOMIA-CIRCULAR-ANALISIS-CICLO-VIDA/](https://kaizen.com/es/insights-es/economia-circular-analisis-ciclo-vida/)

- MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO (MITECO). (N.D.). BIOGÁS. RETRIEVED FROM [HTTPS://WWW.MITECO.GOB.ES/CONTENT/DAM/MITECO/ES/ENERGIA/FILES-1/ES-ES/NOVEDADES/DOCUMENTS/00HR\\_BIOGAS\\_V6.PDF](https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/energia/files-1/es-es/NOVEDADES/DOCUMENTS/00HR_BIOGAS_V6.PDF)
- NASSER, A. R., NABIL, A., & AHMAD, N. M. (2025). DEPOLYMERIZATION FOR A CIRCULAR ECONOMY: SUSTAINABLE POLYMER WASTE MANAGEMENT AND RESOURCE RECOVERY. ENVIRONMENTAL CHEMISTRY LETTERS. [HTTPS://PUBMED.NCBI.NLM.NIH.GOV/40550969/](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40550969/)
- NATURALEZA SIN TÓXICOS. (2020). CC ECONOMÍA CIRCULAR. RETRIEVED FROM [HTTPS://NATURALEZASIN-TOXICOS.WORDPRESS.COM/WP-CONTENT/UPLOADS/2020/02/CC-ECONOMC3ADA-CIRCULAR.PDF](https://naturalezasin-toxicos.wordpress.com/wp-content/uploads/2020/02/cc-economc3ada-circular.pdf)
- ORGANIZACIÓN DE LOS ESTADOS AMERICANOS (OAS). (S.F). SIMPOSIO G: PANEL I BIOGÁS. [HTTPS://WWW.OAS.ORG/DSD/ENERGY/DOCUMENTS/SIMPOSIOG/3%20PANEL%20I%20BIOGAS.PDF](https://www.oas.org/dsd/energy/documents/simposioG/3%20Panel%20%20Biogas.pdf)
- PLASTICS EUROPE. (2023). CIRCULARIDAD 2021. [HTTPS://PLASTICSEUROPE.ORG/ES/WP-CONTENT/UPLOADS/SITES/4/2023/03/PLASTICSEUROPE-CIRCULARIDAD-2021.PDF](https://plasticseurope.org/es/wp-content/uploads/sites/4/2023/03/PlasticsEurope-Circularidad-2021.pdf)
- PROMINDSA. (S.F). CÓMO CONTRIBUYE EL BIOGÁS A LA ECONOMÍA CIRCULAR. [HTTPS://PROMINDSA.COM/COMO-CONTRIBUYE-EL-BIOGAS-A-LA-ECONOMIA-CIRCULAR/](https://promindsa.com/como-contribuye-el-biogas-a-la-economia-circular/)
- REVISTA CIENCIAS ADMINISTRATIVAS Y SOCIALES. (S.F). LA ECONOMÍA CIRCULAR COMO MODELO DE DESARROLLO SOSTENIBLE. [HTTPS://RC.CIENCIASAS.ORG/INDEX.PHP/RC/ARTICLE/VIEW/192/145](https://rc.cienciasas.org/index.php/rc/article/view/192/145)
- REVISTA CONTACTOS. (S.F). LA ECONOMÍA CIRCULAR: UN MODELO PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE. [HTTPS://CONTACTOS.IZT.UAM.MX/INDEX.PHP/CONTACTOS/ARTICLE/VIEW/456/248](https://contactos.izt.uam.mx/index.php/contactos/article/view/456/248)
- REVISTAS UNL. (S.F.). ECONOMÍA CIRCULAR Y SU IMPACTO EN EL DESARROLLO SOSTENIBLE. [HTTPS://REVISTAS.UNL.EDU.EC/INDEX.PHP/CEDAMAZ/ARTICLE/VIEW/1265/1074](https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/1265/1074)
- RODRÍGUEZ, I. (2025). SUSTAINABLE UTILIZATION OF BIOMASS WASTE FOR GREEN ENERGY PRODUCTION: A REVIEW. ENVIRONMENTAL SCIENCE AND POLLUTION RESEARCH. [HTTPS://LINK.SPRINGER.COM/ARTICLE/10.1007/S43621-025-01257-Y](https://link.springer.com/article/10.1007/s43621-025-01257-y)
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN AMBIENTAL (SINIA). (S.F.). ECONOMÍA CIRCULAR EN PERÚ. [HTTPS://SINIA.MINAM.GOB.PE/SITES/DEFAULT/FILES/ARCHIVOS/PUBLIC/DOCS/PB\\_ALEJANDRA%20VALDIVIA.PDF](https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/archivos/public/docs/pb_alejandra%20valdivia.pdf)
- TEMAS DE ENERGÍA. (S.F.). EL BIOGÁS COMO FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE EN COSTA RICA. [HTTPS://WWW.SCIOLO.SA.CR/PDF/TEM/V31N2/0379-3982-TEM-31-02-159.PDF](https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v31n2/0379-3982-tem-31-02-159.pdf)
- UN NEWS. (2018). LA ECONOMÍA CIRCULAR: UNA SOLUCIÓN A LA CRISIS DEL PLÁSTICO. [HTTPS://NEWS.UN.ORG/ES/INTERVIEW/2018/12/1447801](https://news.un.org/es/interview/2018/12/1447801)
- UN NEWS. (2021). LA ONU IMPULSA LA ECONOMÍA CIRCULAR PARA UNA RECUPERACIÓN MÁS SOSTENIBLE. [HTTPS://NEWS.UN.ORG/ES/STORY/2021/03/1490082](https://news.un.org/es/story/2021/03/1490082)

- UN NEWS. (2022). LA ECONOMÍA CIRCULAR, CLAVE PARA LA ACCIÓN CLIMÁTICA Y EL DESARROLLO SOSTENIBLE. [HTTPS://NEWS.UN.ORG/ES/STORY/2022/04/1506592](https://news.un.org/es/story/2022/04/1506592)
- UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL PERÚ (UTEC). (2019). UNA MIRADA DE LA ECONOMÍA CIRCULAR A TRAVÉS DE LA INGENIERÍA QUÍMICA. [HTTPS://WWW1.UTEC.EDU.PE/BLOG-DE-CARRERAS/INGENIERIA-QUIMICA/UNA-MIRADA-DE-LA-ECONOMIA-CIRCULAR-TRAVES-DE-LA-INGENIERIA-QUIMICA](https://www1.utec.edu.pe/blog-de-carreras/ingenieria-quimica/una-mirada-de-la-economia-circular-traves-de-la-ingenieria-quimica)
- WANG, L., ZHANG, J., & LI, Y. (2023). ADVANCES IN CIRCULAR ECONOMY FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. CHINESE CHEMICAL LETTERS, 34(8), 108151. [HTTPS://WWW.CHINESECHEMSOC.ORG/DOI/10.31635/CCSCHEM.023.202303460](https://www.chinesechemsoc.org/doi/10.31635/ccschem.023.202303460)
- ZHANG, Y., YANG, J., & LI, H. (2023). BIOGAS PRODUCTION FROM AGRICULTURAL WASTE: A REVIEW OF RECENT ADVANCES. ENERGIES, 16(9), 3801. [HTTPS://WWW.MDPI.COM/1996-1073/16/9/3801](https://www.mdpi.com/1996-1073/16/9/3801)

# Inteligencia logística: Transformación de la logística tradicional

Sr. Guillermo Cruz Cunyarache  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Correo electrónico: guillermo.cruzc@unmsm.edu.pe

Srta. Gabriela Aquino Urruchi  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Correo electrónico: gabriela.aquino@unmsm.edu.pe

**Resumen:** La presente investigación tiene como objetivo general analizar las principales tecnologías que están impulsando esta transformación de logística tradicional a inteligencia logística y artificial con sus aplicaciones en diferentes sectores y los desafíos que aún enfrentan las empresas en la transición hacia un modelo de logística inteligente. En primer lugar, se destaca la optimización de la gestión de inventarios y la toma de decisiones en tiempo real mediante el uso de algoritmos de IA y análisis predictivo. Esto permite prevenir fluctuaciones de demanda, reducir costos operativos y minimizar desabastecimientos. Además, el estudio identifica los principales desafíos en la adopción de estas tecnologías, incluyendo barreras organizacionales, interoperabilidad entre sistemas heredados y la resistencia al cambio cultural en empresas tradicionales. Finalmente, se analiza cómo la automatización y el monitoreo en tiempo real están mejorando la seguridad y reduciendo errores en los centros de distribución, incrementando la confiabilidad y la precisión operativa. Este trabajo subraya la importancia de "smart logistic" como una solución integral para mejorar la competitividad, impulsar la sostenibilidad y afrontar los retos del sector logístico en un mundo cada vez más globalizado y digital.

**Palabras clave:** Inteligencia logística/ Cadena de suministros/ Cadena de bloques/ Inteligencia artificial/ IOT.

**Abstract:** The present research has the general objective of analyzing the main technologies that are driving this transformation from traditional logistics to logistics and artificial intelligence with their applications in different sectors and the challenges that companies still face in the transition to a smart logistics model. Firstly, the optimization of inventory management and real-time decision making through the use of AI algorithms and predictive analysis is highlighted. This allows preventing demand fluctuations, reducing operating costs and minimizing shortages. In addition, the study identifies the main challenges in the adoption of these technologies, including organizational barriers, interoperability between legacy systems and resistance to cultural change in traditional companies. Finally, it analyzes how automation and real-time monitoring are improving safety and reducing errors in distribution centers, increasing reliability and operational precision. This work underlines the importance of "Smart Logistic" as a

comprehensive solution to improve competitiveness, boost sustainability and meet the challenges of the logistics sector in an increasingly globalized and digital world.

**Keywords:** Logistics intelligence/ Supply chain/ Blockchain/ Artificial intelligence/ IOT.

**Résumé:** L'objectif général de cette recherche est d'analyser les principales technologies qui conduisent cette transformation de la logistique traditionnelle vers la logistique et l'intelligence artificielle avec ses applications dans différents secteurs et les défis auxquels les entreprises sont encore confrontées dans la transition vers un modèle logistique intelligent. Tout d'abord, l'optimisation de la gestion des stocks et de la prise de décision en temps réel grâce à l'utilisation d'algorithmes d'IA et d'analyses prédictives est mise en avant. Cela nous permet d'éviter les fluctuations de la demande, de réduire les coûts d'exploitation et de minimiser les pénuries. En outre, l'étude identifie les principaux défis liés à l'adoption de ces technologies, notamment les barrières organisationnelles, l'interopérabilité entre les systèmes existants et la résistance au changement culturel dans les entreprises traditionnelles. Enfin, il analyse comment l'automatisation et la surveillance en temps réel améliorent la sécurité et réduisent les erreurs dans les centres de distribution, augmentant ainsi la fiabilité et la précision opérationnelle. Ce travail met en évidence l'importance de la "Smart Logistics" en tant que solution globale pour améliorer la compétitivité, promouvoir la durabilité et faire face aux défis du secteur de la logistique dans un monde de plus en plus mondialisé et numérique.

**Mots-clés:** Intelligence logistique/ Supply chain/ Blockchain/ Intelligence artificielle/ IdO.

## 1. Introducción:

En el contexto de la globalización y la creciente complejidad de las cadenas de suministro, la transformación digital ha emergido como un factor clave para la evolución de la logística tradicional hacia un modelo más inteligente y eficiente. Según Cepal (2020) la adopción de tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial (IA), el internet de las cosas (IoT) y el big data está redefiniendo los procesos logísticos, desde la optimización de rutas y la gestión de inventarios, hasta la automatización de centros de distribución y transporte.

Como se mencionó en The Collider (2022), esta transformación, conocida como logística 4.0, no solo busca incrementar la eficiencia operativa, sino también ofrecer soluciones más sostenibles en el entorno urbano y portuario. Por ejemplo, la implementación de ventanillas únicas de comercio exterior (VUCE) y sistemas de comunidades portuarias (PCS) ha permitido una mayor transparencia y rapidez en las transacciones logísticas, conectando de manera más eficiente a los actores públicos y privados.

De acuerdo a lo que menciona Aden (2024), el uso de inteligencia artificial en la logística está proporcionando a las empresas una ventaja competitiva significativa, permiti-

tiéndoles analizar grandes volúmenes de datos en tiempo real y tomar decisiones más informadas. Estas innovaciones están impulsando un cambio radical en la forma en que las empresas gestionan sus cadenas de suministro, mejorando tanto la productividad como la sostenibilidad en toda la cadena.

Esta investigación se centra en analizar las principales tecnologías que están impulsando esta transformación, sus aplicaciones en diferentes sectores y los desafíos que aún enfrentan las empresas en la transición hacia un modelo de logística inteligente.

### **Problema principal**

¿De qué manera la implementación de tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial, el internet de las cosas y el análisis de big data en la smart logistic está optimizando la eficiencia operativa, mejorando la sostenibilidad en las cadenas de suministro y afrontando los desafíos en la transición desde los modelos logísticos tradicionales?

### **Problemas específicos**

¿Cómo la inteligencia artificial está optimizando la gestión de inventarios y la toma de decisiones en tiempo real dentro de la smart logistic?

¿Qué impacto tiene la smart logistic en la sostenibilidad y cómo contribuye a reducir las emisiones de carbono en las ciudades?

¿Cuáles son los principales desafíos que enfrentan las empresas al adoptar smart logistic en entornos tradicionales?

¿Cómo está contribuyendo la smart logistic a la mejora de la seguridad y la reducción de errores en los centros de distribución?

### **Objetivo general**

Analizar cómo la implementación de tecnologías avanzadas, como la inteligencia artificial, el internet de las cosas (IoT) y el big data, están transformando la logística tradicional en smart logistic, mejorando la eficiencia operativa, la sostenibilidad y la competitividad en las cadenas de suministro, y enfrentando los desafíos clave en la transición hacia este nuevo modelo logístico.

### **Objetivos específicos**

Identificar cómo la inteligencia artificial (IA) está contribuyendo a la optimización de procesos logísticos.

Estudiar las contribuciones de la smart logistic a la sostenibilidad ambiental, particularmente en el transporte urbano.

Identificar los principales desafíos que enfrentan las empresas al implementar tecnologías de smart logistic.

Evaluar el impacto del internet de las cosas (IoT) en la visibilidad y control de la cadena de suministro.

## 2. Material y métodos

### 2.1. Pregunta PICOC

Se formuló la siguiente pregunta para la revisión sistemática de la literatura: ¿De qué manera la implementación de tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial, el internet de las cosas y el análisis de big data en la smart logistic está optimizando la eficiencia operativa, mejorando la sostenibilidad en las cadenas de suministro y afrontando los desafíos en la transición desde los modelos logísticos tradicionales?

### 2.2. Palabras clave especializadas pertinentes

**Tabla N° 1**

<b>Código</b>	<b>Palabras clave español</b>	<b>Palabras clave inglés</b>
Población	Centro de distribución, última milla, industrial	Distribution center, last mile, industrial
Intervención	IA, Big data; IoT,	AI, big data; IoT,
Comparador	Logística tradicional, eficiencia operativa clásica	Traditional logistics, classic operational efficiency
Outcome	Sostenibilidad, reducción de costos, eficiencia operativa	Sustainability, cost reduction, operational efficiency
Contexto	Transformación digital logística, logística 4.0, smart logistic, innovación logística, cadena de suministro inteligente.	Logistics digital transformation, logistics 4.0, smart logistic, logistics innovation, smart supply chain.

**Fuente:** Elaboración propia

### 2.3. Ecuación búsqueda

Se analizaron las palabras clave para la realización de la ecuación que facilite la búsqueda:

("Sustainability" OR "cost reduction" OR "operational efficiency") AND ( "Logistics digital transformation" OR "Logistics 4.0" OR "Smart Logistic" OR "logistics innovation" OR "smart supply chain") AND ( "AI" OR "Big data" OR "IoT") AND ( "Distribution center" OR "last mile, industrial")

### 2.4. Criterios de inclusión y exclusión

Los criterios seleccionados para la investigación son los siguientes:

**Tabla N° 02**

<b>Criterios de inclusión</b>	<b>Criterios de exclusión</b>
I1. Publicaciones basadas en AI y transformación digital.	E1. Publicaciones que incluyan temas políticos, ambientales.
I2. Publicaciones basadas impacto del Covid a la digitalización de la logística.	E2. Publicaciones con información parcialmente irrelevante
I3. Publicaciones basadas el surgimiento de la analítica de big data en dispositivos IoT.	

**Fuente:** Elaboración propia

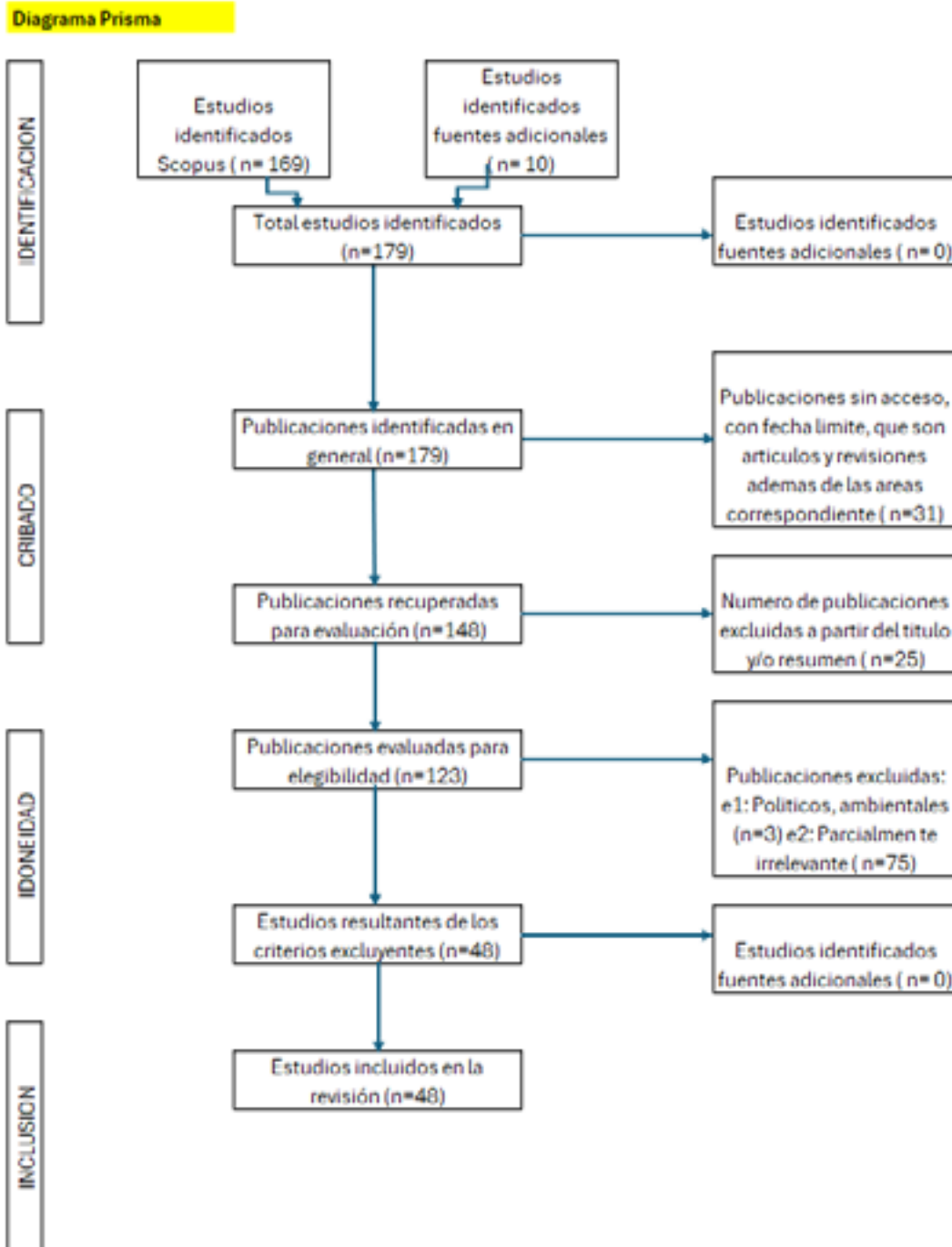
### 2.5. Descripción de proceso de selección

Muestra una cantidad de 179 publicaciones, se ha procedido a exportar los documentos para seleccionar las publicaciones definidas en la investigación. Incluimos la base de datos de publicaciones de Scopus, 169 publicaciones relacionadas según criterio de inclusión y exclusión y 10 estudios identificados de fuentes adicionales.

- Identificación, se tiene como resultado 179 artículos, suma de los estudios identificados de Scopus y de fuentes adicionales
- Cribado, se tiene como resultado 148 publicaciones recuperadas para evaluación, no se considera publicaciones antiguas del 2018 hacia atrás, sin acceso, de áreas, título y resumen que no corresponden.

- Idoneidad, se tiene como resultado 48 estudios resultantes de los criterios excluyentes, no se considera publicaciones con temas políticos e irrelevantes.
- Inclusió, se tiene como resultado 48 estudios incluidos en la revisió.

Figura N° 1



Fuente: Elaboración propia

## Aporte de artículos y revisiones seleccionados

N°	Año	Autor(es)	Título	Aporte	País
1	2021	Wang y otros.	"Logística inteligente basada en IA e IoT en la cadena de suministro"	Exploración del impacto de la IA y el IoT en la eficiencia operativa.	China
2	2020	Smith, J. y otros.	"Análisis de big data para la optimización logística"	Uso de big data para la optimización de rutas y reducción de costos.	Estados Unidos
3	2022	Müller y col.	"Industria 4.0 y automatización en la logística inteligente"	Integración de tecnologías de la industria 4.0 en la logística inteligente.	Alemania
4	2019	Tanaka y otros.	"Robótica y automatización en la logística japonesa"	Aplicación de robótica en almacenes para mejorar la eficiencia logística.	Japón
5	2023	García et al.	"Logística verde y cadenas de suministro inteligentes"	Propuestas para la reducción de emisiones en cadenas de suministro.	España
6	2020	Kim, S. y otros.	"Aplicaciones del IoT en la logística inteligente"	Implementación de IoT para monitoreo en tiempo real de la cadena logística.	Corea del Sur
7	2021	Singh y otros.	"Transformación digital en la logística de los mercados emergentes"	Análisis de la digitalización en mercados emergentes y su impacto.	India
8	2022	Dupont y otros.	"Sostenibilidad y logística inteligente: una perspectiva europea"	Estrategias para integrarse en la logística inteligente.	Francia
9	2021	Oliveira y col.	"Blockchain en la logística inteligente: retos y oportunidades"	Exploración de blockchain para trazabilidad y seguridad en la logística.	Brasil
10	2021	Singh y otros.	"Transformación digital en la logística de los mercados emergentes"	Análisis de la digitalización en mercados emergentes y su impacto.	India

11	2025	Fattahi, P., Ansari, N., Shiri, M.	"El papel de la tecnología de drones y la aplicación de IoT en la cadena de suministro de vacunas durante una pandemia en un entorno incierto: un estudio de caso real de COVID-19 en Irán"	Investigación sobre transporte, parte E: Revisión de logística y transporte	Irán
12	2024	Setthachotsombut, N., Sommanawat, K., Suaiam, G.	"Gestión empresarial logística de proveedores en Tailandia con logística inteligente"	Revista de innovación abierta: tecnología, mercado y complejidad	Tailandia
N°	Año	Autor(es)	Título	Aporte	País
13	2024	Schnieder, M.	"Visualización de la consolidación de transportistas y ubicaciones de entrega alternativas: un modelo digital de entrega de última milla en Inglaterra y Gales"	Este estudio contribuye a la investigación en curso al desarrollar un modelo digital a gran escala de Inglaterra y Gales para evaluar una nueva generación de soluciones para los desafíos de entrega de última milla que enfrentan tanto en áreas rurales como en ciudades.	Reino Unido
14	2024	Chou, T.-H., Chen, Y.-S., Pan, C.-W., Chang, H.-H.	"Una báscula inteligente para una gestión eficiente del inventario basada en principios de investigación de la ciencia del diseño"	Economía contemporánea.	Taiwán
15	2024	Mattos, C.A., Correia, FC, Kissimoto, K.O.	"Capacidades de inteligencia artificial para el proceso de planificación de la demanda"	Los avances tecnológicos, particularmente en inteligencia artificial (IA), están revolucionando la gestión de operaciones, especialmente en el dominio de la gestión de la cadena de suministro.	Brasil

16	2024	Sharabati , A.- AA, Awawdeh, HZ, Sabra, S., Allahham , M., Ali, A.	"El papel de la inteligencia artificial en la cadena de suministro digital en empresas industriales como mediador del efecto de la eficiencia operativa"	Gestión incierta de la cadena de suministro	Jordania
17	2024	Abed, AM, AlArjani , A., Seddek , LF, ElAttar, S.	"Reducir el tiempo de entrega y los costos relacionados en un sistema de solicitudes caótico a través del modelo lean-Heijunka para mejorar la ruta logística hamiltoniana"	La gestión de la cadena de suministro en línea (OSCM) es la forma inteligente de manejar las grandes cantidades de datos que llegan de los clientes en un sistema desorganizado para satisfacer las cantidades, volúmenes y tipos de paquetes de los clientes durante las fases de entrega y recogida utilizando un nuevo diseño de cajas de vehículos gestionadas por IoT y para rastrear sus solicitudes en función de la programación de solicitudes y su clasificación para crear una ruta hamiltoniana que garantice la distancia de viaje más corta	Holanda
N°	Año	Autor(es)	Título	Aporte	País
18	2024	Minashkina , D.	"Una agenda de revisión e investigación sobre prácticas recientes social y ambientalmente sostenibles para sistemas de gestión de almacenes"	Revista Internacional de Gestión Logística	Finlandia
19	2024	Shang, W., Fu, J., Ma, J., Tian, J., Yu, M.	"Optimización de rutas de distribución bajas en carbono basadas en internet de las cosas para logística"	Revista IEEE sobre internet de las cosas	China

20	2024	Singh, Y., Singh, R.	"Análisis del almacén inteligente en el contexto de la Política Nacional de Logística de la India y el impulso digital: una técnica ISM-MIC-MAC"	Revista internacional de gestión de la productividad y el rendimiento	India
21	2024	Vedapradha R., Joshi, D., Hariharan, R.	"Priorizar los criterios de evaluación de las empresas emergentes de almacenamiento impulsadas por IoT: un rayo de luz para el sector no organizado en la cadena de suministro de alimentos"	Revista Internacional de Gestión Logística	India
22	2024	Li, Y., Lin, Y., Lim, M.K., Shi, Y., Su, J.	"Un sistema de distribución inteligente para operaciones logísticas verdes en el entorno blockchain"	Revista internacional de investigación y aplicaciones logísticas	China
23	2024	Beckers, J., Cant, J.	"Media década en dos años: el transporte doméstico tras el COVID-19"	Reseñas de transporte	Bélgica
24	2023	Minashkina D., Happonen, A.	"Sistemas de gestión de almacenes para la sostenibilidad social y ambiental: una revisión sistemática de la literatura y un análisis bibliométrico"	El estudio abordó una brecha en la literatura académica sobre WMS y sostenibilidad. Los hallazgos de la investigación agregaron conocimiento de actividades prácticas para lograr la sostenibilidad de las operaciones y el desempeño del almacén	India
N°	Año	Autor(es)	Título	Aporte	País
25	2023	Minashkina D., Happonen, A.	"Un mapeo sistemático de la literatura sobre la investigación académica actual que vincula los sistemas de gestión de almacenes con el contexto logístico de terceros"	Se lleva a cabo una investigación para mapear las brechas de conocimiento específicas faltantes en materia de digitalización, investigación basada en tecnología, desarrollo, posibilidades de innovación y sostenibilidad de WMS.	Finlandia

26	2023	Verma, A., Tripathia, S., Singhal, D.	"La importancia de la gestión de almacenes en la cadena de suministro: un enfoque ISM"	Toma de decisiones: aplicaciones en gestión e ingeniería	India
27	2023	Abdul Rahman, NSF, Karim, NH, Md Hanafiah, R., Abdul Hamid, S., Mohammed, A.	"Análisis de decisiones sobre indicadores de desempeño de productividad de almacenes para mejorar la eficiencia operativa logística"	Revista internacional de gestión de la productividad y el rendimiento	Malasia
28	2023	Kumar, S., Raut, RD, Priyadarshinee, P., Narkhede, B.E.	"Explorando prácticas de gestión de almacenes para la adopción de IoT-blockchain"	El estudio actual utilizó literatura reciente para desarrollar un modelo conceptual mediante la identificación de prácticas de almacenamiento modernas y luego utilizó modelos de ecuaciones estructurales para examinar la relación entre estas prácticas y la adopción de IoT-blockchain para evaluar el impacto en el desempeño empresarial organizacional	India
29	2022	Shi, Y., Lin, Y., Lim, MK, Tan, C., Li, Y.	"Un sistema de programación verde inteligente para una logística de cadena de frío sostenible"	Este estudio propone un sistema de programación inteligente y ecológico para la logística de la cadena de frío (IGSS-CCL) para apoyar la integración y coordinación de recursos	China
30	2022	Mashalah, HA, Hassini, E., Gunasekaran, A., Bhatt (Mishra), D.	"El impacto de la transformación digital en las cadenas de suministro a través del comercio electrónico: revisión de literatura y marco conceptual"	Investigación sobre transporte, parte E: Revisión de logística y transporte	Canada

N°	Año	Autor(es)	Título	Aporte	País
31	2022	Gultekin, B., Demir, S., Gunduz, MA, Cura, F., Ozer, L.	"Los proveedores de servicios logísticos durante la pandemia de COVID-19: la prominencia y la estructura causa-efecto de las incertidumbres y los riesgos"	Las incertidumbres y los riesgos desempeñan un papel central en la creación de vulnerabilidades para las operaciones de servicios logísticos	Turquía
32	2022	Liu, Y., Long, S., Wei, Y.	"Mecanismo de correlación entre la tecnología inteligente y el desempeño de la innovación en la cadena de suministro inteligente: un estudio de múltiples casos de empresas chinas con Internet físico"	Revista Internacional de Economía de la Producción	China
33	2022	Jin J.	"El método de selección inteligente de sitios de distribución impulsado por el algoritmo de optimización inteligente"	Este documento toma como contenido de investigación la optimización de la selección de puntos de distribución logística urbana y compara y analiza la aplicabilidad de diferentes algoritmos inteligentes a los datos logísticos.	China
34	2022	Perotti, S., Bastidas Santacruz, RF, Bremer, P., Beer, J.E.	"Logística 4.0 en el almacenamiento: un marco conceptual de factores de influencia, beneficios y barreras"	La principal novedad y valor radica en proporcionar tanto a los académicos como a los profesionales una visión completa de las múltiples facetas que se deben considerar al abordar la logística. 4.0 en instalaciones logísticas.	Italia

35	2022	Bui, L.T.C., Carvalho, M., Pham, H.T., Duong, A.T.B., Truong Quang, H.	"Gestión de la calidad de la cadena de suministro 4.0: marcos conceptuales y de madurez"	El objetivo de la investigación se basa en el principio de proporcionar nuevos conocimientos y una perspectiva colectiva considerada como Gestión de la Calidad de la Cadena de Suministro 4.0 (SCQM4.0), una integración de los tres conceptos: Industria 4.0, gestión de la calidad y gestión de la cadena de suministro.	Vietnam
36	2022	Holl, A., Mariotti, I.	"Un estudio empírico de los factores que impulsan la adopción de la innovación logística"	Basándonos en una gran muestra representativa de empresas alemanas, examinamos los patrones y los impulsores de la logística. Innovación	Alemania
N°	Año	Autor(es)	Título	Aporte	País
37	2022	Liu, H., Yang, R., Shi, H.	"El impacto de la economía de plataformas y las regulaciones ambientales en la eficiencia técnica de la industria de entregas exprés"	Un aumento en el número de empleados en la industria de la logística promoverá significativamente la eficiencia de la industria de entrega exprés, mientras que el aumento de los puntos de venta comerciales la inhibirá.	China

38	2022	Lagorio, A., Zenezini, G., Mangano, G., Pinto, R.	"Una revisión sistemática de la literatura sobre tecnologías innovadoras adoptadas en la gestión logística"	Se han adoptado con éxito numerosas tecnologías innovadoras en los procesos de logística y gestión de la cadena de suministro para aumentar la eficiencia, reducir los costes o mejorar la comunicación.	Italia
39	2021	Loske, D., Klumpp, M., Keil, M., Neukirchen, T.	"Trabajo logístico, ergonomía y sostenibilidad social: evaluación empírica de la tensión del sistema musculoesquelético en la intralogística minorista"	Estos elementos se centran en la situación ergonómica altamente relevante de los trabajadores de logística y presentan una contribución única a la base de conocimientos en este campo debido al enfoque multiperspectivo	Alemania
40	2021	Tsai, C.-A., Ho, T.-H., Lin, J.-S., Tu, C.-C., Chang, C.-W.	"Modelo de evaluación de empresas de outsourcing logístico en tiempos de pandemia por COVID-19"	Este estudio propone un modelo de dos etapas para evaluar las empresas de logística de subcontratación más adecuadas para una fábrica de fabricación.	Taiwán
41	2021	Winkelhaus, S., Grosse, EH, Morana, S.	"Hacia una conceptualización del Order Picking 4.0"	Este documento conceptualiza la preparación de pedidos 4.0 (OP 4.0), considerando tecnologías sustitutivas y de apoyo.	Alemania

42	2021	Lu, K., Liao, H., Zavadskas , EK	"Una visión general de las técnicas difusas en la gestión de la cadena de suministro: bibliometría, metodologías, aplicaciones y direcciones futuras"	A través de los análisis en términos de bibliometría, metodologías y aplicaciones, se encuentran tendencias de publicación, métodos populares como los métodos MCDM difusos y aplicaciones de moda como la selección de proveedores.	China
43	2021	Song, Y., Yu, FR, Zhou, L., Yang, X., He, Z.	"Aplicaciones de internet de las cosas (IoT) en la logística inteligente: un estudio exhaustivo"	En este artículo, proporcionamos un estudio exhaustivo sobre la literatura que involucra tecnologías de IoT aplicadas a la logística inteligente.	China

N°	Año	Autor(es)	Título	Aporte	País
44	2021	Shmatko, A., Barykin , S., Sergeev, S., Thi- rakulwanich , A.	"Modelado de un centro logístico mediante el método de la huella digital: implicaciones para la ingeniería de innovación abierta"	Este estudio examina la optimización de la tecnología de un centro de distribución como nodo base de un operador de red logística de terceros.	Rusia

45	2021	Nitsche, B., Straube, F., Wirth, M.	"Áreas de aplicación y antecedentes de la automatización en la gestión logística y de la cadena de suministro: un marco conceptual"	Uno de los principales desafíos para la logística moderna y la gestión de la cadena de suministro (LSCM) es la automatización de los procesos a lo largo de la cadena de suministro.	Alemania
46	2020	Shashi , Centobelli , P., Curchione , R., Ertz , M.	"Gestión ágil de la cadena de suministro: ¿de dónde surge y hacia dónde irá en la era de la transformación digital?"	Este estudio proporciona una revisión integral e integradora de 90 artículos sobre ASC. Al hacerlo, contribuimos al debate sobre la digitalización en la cadena de suministro de varias maneras.	Italia
47	2020	He, Z.	"Los desafíos en materia de sostenibilidad del diseño de redes de transporte urbano de mercancías y las innovaciones en su distribución: una revisión sistemática de la literatura"	La planificación de redes de transporte de mercancías y la aplicación de innovaciones en la distribución son campos de investigación populares en logística urbana sostenible.	Alemania
48	2020	Ponis , ST, Efthymiou, O.K.	"Aplicaciones de la nube y del IoT en la automatización del manejo de materiales y la intralogística"	Este artículo proporciona una descripción detallada de una aplicación de IoT basada en la nube extraída de un centro de distribución (CD)	Grecia

### 3.Resultados y discusión

#### 3.1. Análisis descriptivo de los artículos

En base a los artículos publicados de investigación relacionados al tema de inteligencia logística, transformación de la logística tradicional, se muestra la tendencia del número de artículos por año del 2019 al 2023, varía de 1 a 12 artículos.

**Figura N° 2**



**Fuente:** Elaboración propia

Continuando con la muestra de resultados de los artículos publicados, hay una gama de países que publicaron relacionados al tema de inteligencia logística, transformación de la logística tradicional. Alemania, China e India lideran en mayor cantidad de artículos.

**Figura N° 3**



**Fuente:** Elaboración propia

De la misma manera, el número de artículos por país representando en el mapa geográfico.

**Figura N° 4**



**Fuente:** Elaboración propia

#### **4. Análisis de correlación de los artículos seleccionados**

##### **4.1. La inteligencia artificial está optimizando la gestión de inventarios y la toma de decisiones en tiempo real**

La integración de inteligencia artificial (IA) en la logística inteligente está revolucionando la manera en que las empresas gestionan inventarios y toman decisiones en tiempo real. La IA permite analizar grandes volúmenes de datos provenientes de múltiples fuentes, como sensores IoT y sistemas de gestión de inventarios, para prever patrones de demanda, optimizar rutas de transporte y reducir costos operativos.

##### **Impacto en la estimación de inventarios**

Según Wang et al. (2021), el uso combinado de IA e IoT ha transformado la cadena de suministro al permitir la previsión de demanda con mayor precisión. Los algoritmos de aprendizaje automático identifican tendencias históricas y factores externos, como fluctuaciones de mercado y cambios climáticos, para ajustar los niveles de stock en tiempo real. Esto minimiza tanto los excesos de inventario como los desabastecimientos, optimizando la rotación de productos.

De acuerdo a lo que mencionan Chou, T.-H., Chen, Y.-S., Pan, C.-W., Chang, H.-H. (2024) este dispositivo, que está diseñado específicamente para artículos livianos como chicles, tornillos y sujetadores, utiliza sensores de peso para calcular cantidades en tiempo real de forma dinámica. Al reducir el error humano y mejorar la supervisión de

los artículos, smart scale mejora la precisión del inventario y la eficiencia en términos de tiempo y costos.

### **Toma de decisiones en tiempo real**

Según Johnson y cols. (2023) describen cómo las plataformas basadas en IA han mejorado la última milla de distribución mediante la optimización dinámica de rutas. La capacidad de reconfigurar rutas en tiempo real ante interrupciones, como tráfico o condiciones meteorológicas adversas, garantiza una entrega más eficiente y reduce los tiempos de respuesta.

De acuerdo con Mattos, CA, Correia, FC, Kissimoto, KO (2024) la aplicación de IA en los procesos de planificación de la demanda dentro del contexto de la cadena de suministro; basándose en una revisión exhaustiva de la literatura existente, el objetivo principal de este estudio es analizar cómo se está aplicando y adoptando la IA en el proceso de planificación de la demanda, identificando los recursos necesarios para desarrollar la capacidad de IA en el proceso de demanda, así como los mecanismos y prácticas que contribuyen al avance y la formación de la capacidad de IA.

#### **4.1.1. Impacto en sostenibilidad y reducción de emisiones de carbono**

La sostenibilidad se ha convertido en un pilar esencial de las operaciones logísticas modernas. Smart logistic ofrece soluciones innovadoras para reducir el impacto ambiental a través de la optimización de recursos, tecnologías limpias y una mayor eficiencia operativa.

#### **Optimización de rutas y recursos**

Según García et al. (2023) la planificación avanzada de rutas mediante análisis de big data puede reducir significativamente el consumo de combustible. Al identificar rutas más cortas y fluidas, se logra disminuir las emisiones de carbono asociadas al transporte, contribuyendo a la sostenibilidad de las ciudades.

Para Él, Z. (2020) los esquemas innovadores de diseño de redes de transporte de mercancías y los conceptos de entrega emergentes en las ciudades; Con base en un análisis de la relevancia de los artículos, se detectan las contribuciones de investigación más significativas tanto en el diseño de redes logísticas urbanas como en la explotación de innovaciones en la distribución.

Según Beckers, J., Cant, J. (2024) Como resultado, necesitamos comprender mejor la nueva geografía y la dinámica de los orígenes y destinos del transporte de carga de los hogares; utilizar esto para reexaminar las relaciones existentes entre el consumidor, el minorista y el proveedor de servicios logísticos, y por último evaluar el impacto de los consumidores más exigentes en la sostenibilidad del sistema en general.

Arce, A. (2024) en su estudio destaca la importancia de los modelos digitales detallados y a gran escala que no solo calculan los beneficios generales de una innovación, sino también su efecto en cada área individual.

### **Implementación de tecnologías limpias**

De acuerdo con Dupont y cols. (2022) resalta la incorporación de vehículos eléctricos y sistemas de energía renovables en las operaciones logísticas. Estas iniciativas no solo cumplen con las regulaciones ambientales, sino que también ayudan a posicionar a las empresas como líderes en sostenibilidad.

Smart logistic no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también desempeña un papel crucial en la transición hacia cadenas de suministro más verdes, alineándose con las exigencias de sostenibilidad global.

Segun Shi, Y., Lin, Y., Lim, MK, ... Tan, C., Li, Y. (2022) En su estudio proponen un sistema de programación inteligente y ecológico para la logística de la cadena de frío, (IGSS-CCL) para apoyar la integración y coordinación de recursos. Los resultados destacan que la optimización táctica multiobjetivo en el IGSS-CCL favorece el ahorro de recursos, la protección del medio ambiente y la promoción del desarrollo sostenible de la logística de la cadena de frío, que se mantiene por delante del método tradicional de optimización de un solo objetivo.

#### **4.1.2. Desafíos para la adopción de “Smart logistic” en entornos tradicionales**

La adopción de tecnologías avanzadas como blockchain, IA e IoT en entornos tradicionales enfrenta múltiples barreras, desde la resistencia al cambio hasta las limitaciones financieras y tecnológicas.

#### **Barreras culturales y organizacionales**

Según Singh y cols. (2021) en su estudio identificó la resistencia al cambio como una de las principales barreras en los mercados emergentes. Las empresas tradicionales suelen mostrar desconfianza hacia tecnologías nuevas debido a la falta de personal capacitado y el temor a interrupciones en los procesos existentes.

Para Winkelhaus , S., Grosse, EH, Morana, S. (2021) la mayoría de las empresas aún dependen de la preparación manual de pedidos; la investigación sobre diversas posibilidades para automatizar las tareas de preparación de pedidos o apoyar a los preparadores de pedidos humanos con tecnología está aumentando rápidamente. Este documento conceptualiza la preparación de pedidos, considerando tecnologías sustitutivas y de apoyo. Basándose en un trasfondo conceptual, se desarrolla un marco para un sistema sociotécnico.

Según Perotti, S., Bastidas Santacruz, RF, Bremer, P., Beer, JE (2022) abordan la brecha al examinar la relación entre los factores influyentes, las barreras y los beneficios de

la logística. En la última década, el paradigma de la industria 4.0 había comenzado a expandirse rápidamente al ámbito logístico. La logística 4.0 todavía se encuentra en una etapa temprana de adopción: algunas áreas, como el almacenamiento, aún están explorando su aplicabilidad y la implementación tecnológica de este paradigma puede volverse confusa.

Para Duong, ATB, Truong Quang, H., Nguyen, T., Nguyen, H. (2022) en su estudio integran los tres conceptos (Industria 4.0, gestión de calidad y gestión de la cadena de suministro), conectando el vínculo y descubriendo más sinergias para respaldar el desarrollo futuro de modelos de gestión más holísticos. Establece una base de conocimiento sobre temas de investigación, cuestiones de integración y sinergias con un enfoque en el potencial para una integración más profunda con las operaciones de la cadena de suministro.

### **Problemas de interoperabilidad**

Según Oliveira et al. (2021) los desafíos de integrar soluciones como blockchain con sistemas logísticos heredados. Muchas empresas enfrentan dificultades para adaptar sus infraestructuras actuales a plataformas avanzadas, lo que puede retrasar los beneficios esperados.

Si bien smart logistic ofrece grandes beneficios, es esencial que las empresas aborden estos desafíos a través de una planificación estratégica y una inversión en capacitación y actualización tecnológica.

Según Abed, AM, AlArjani, A., Seddek, LF, ElAttar, S. (2024) nos dice que la interacción caótica e inestable conduce a una entrega inestable, por lo tanto, la programación y el seguimiento en línea del enrutamiento logístico utilizando el IoT que admite smart lean heijunka mejorará el SCM, aumentando los puntos visitados en un 31,2 % y mejorando la ganancia en un 41 %.

Según Kumar, S., Raut, RD, Priyadarshini, P., Narkhede, BE (2023) en su estudio desarrolla un modelo conceptual mediante la identificación de prácticas de almacenamiento modernas y utilizando modelos de ecuaciones estructurales para examinar la relación entre estas prácticas y la adopción de IoT-blockchain para evaluar el impacto en el desempeño empresarial organizacional. El resultado del estudio muestra que las prácticas financieras y de infraestructura impactan significativamente en la adopción de IoT-blockchain, lo que impacta aún más en el desempeño empresarial.

#### **4.1.3. Seguridad y reducción de errores en centros de distribución**

Los centros de distribución son puntos críticos en las cadenas de suministro, donde la precisión y la seguridad son fundamentales. La incorporación de tecnologías como robótica e IoT ha transformado estas operaciones, mejorando tanto la seguridad como la eficiencia.

## **Automatización y reducción de errores**

Tanaka et al. (2019) documentan cómo la automatización mediante robótica ha disminuido significativamente los errores en la manipulación de mercancías. Los robots pueden realizar tareas repetitivas con mayor precisión que los humanos, reduciendo pérdidas y mejorando la trazabilidad de los productos.

Según Nitsche, B., Straube, F., Wirth, M. (2021) proponen que el impacto de los antecedentes tecnológicos e informativos está moderado por antecedentes organizacionales y relacionados con el conocimiento, y presenta propuestas que describen el impacto de los antecedentes en la implementación y el uso exitoso de aplicaciones de automatización.

Según Ponis, ST, Efthymiou, OK (2020) proporciona una descripción detallada de una aplicación de IoT basada en la nube extraída de un centro de distribución (CD) que suministra productos de decoración del hogar y artículos deportivos a tiendas en Grecia y la región de los Balcanes, con el objetivo de mostrar la viabilidad de tal inversión, destacar su potencial y brindar motivación a los profesionales para evaluar y proceder con inversiones tecnológicas similares.

Según Vedapradha, R., Joshi, D., Hariharan, R. (2024) en su estudio que se llevó a cabo en las empresas emergentes de almacenamiento de Bangalore, un centro de empresas emergentes de almacenamiento de alimentos. Los hallazgos críticos del estudio revelaron que estas empresas emergentes de almacenamiento de alimentos logran una productividad mejorada en términos de mejora de la eficiencia cuando se implementa con la adopción de IoT.

Según Fattahi, P., Ansari, N., Shiri, M. (2025) presentaron un modelo de programación lineal entera mixta multiobjetivo para la cadena de suministro de vacunas considerando el costo incierto, la compra de vacunas y el tiempo de entrega. Mediante el uso de la tecnología de Internet de las cosas, se recopilan datos sobre varios grupos. Este modelo incorpora la utilización de drones para entregar vacunas desde los puntos de distribución. centros de vacunación a centros de salud debido a la distancia significativa entre dos niveles.

## **Monitoreo en tiempo real**

Kim y cols. (2020) enfatizan el papel del IoT en la seguridad de los centros de distribución. Los sensores IoT permiten monitorear el estado de los productos y detectar irregularidades en tiempo real, lo que minimiza el riesgo de errores humanos y aumenta la transparencia operativa.

La integración de estas tecnologías no solo mejora la seguridad en los centros de distribución, sino que también optimiza los flujos de trabajo, fortaleciendo la confianza en los procesos logísticos.

## 5. Discusión y aportes

A causa de la implementación de diferentes aplicaciones que tienen las tecnologías inteligencia artificial, big data e internet de las cosas sobre las gestiones logísticas se obtuvieron resultados importantes para las empresas.

Por un lado, se discute que según de Mattos, CA, Correia, FC, Kissimoto, K.O. (2024) los avances tecnológicos, particularmente en inteligencia artificial (IA), están revolucioando la gestión de operaciones, especialmente en el dominio de la gestión de la cadena de suministro, se profundiza en la aplicación de la IA en los procesos de planificación de la demanda dentro del contexto de la cadena de suministro. Las contribuciones prácticas de este estudio subrayan la naturaleza multifacética de la implementación de la IA para la planificación de la demanda, enfatizando la importancia de la asignación de recursos, el desarrollo del capital humano, las relaciones colaborativas, la alineación organizacional y el capital relacional y la IA.

Por otro lado, Song, Y., Yu, FR, Zhou, L., Yang, X., He, Z. (2021) opina que la logística es un motor de la competitividad de los países y las empresas y desempeña un papel vital en el crecimiento económico. Sin embargo, la industria logística actual aún enfrenta altos costos y baja eficiencia. El desarrollo de la logística inteligente brinda oportunidades para resolver estos problemas. Como una de las tecnologías importantes de la tecnología de la información y la comunicación (TIC) moderna, la internet de las cosas (IoT) puede crear océanos de datos y explorar las relaciones complejas entre las transacciones representadas por estos datos con la ayuda de varias tecnologías de análisis matemático.

La presente investigación logra conseguir el impacto potencial de la inteligencia artificial (IA) en la cadena de suministro, intenta desentrañar las implicaciones estratégicas de la integración de la IA en la gestión de la cadena de suministro y su asociación con la excelencia operativa y la innovación del modelo de negocio. El estudio es exploratorio y emplea un enfoque de métodos estratégicos. Desarrollamos propuestas que examinan los procesos de toma de decisiones dentro de las cadenas de suministro mejoradas por la IA basadas en un análisis de conceptos centrales.

## 6. Conclusiones y recomendaciones

### Conclusiones

La implementación de tecnologías como la inteligencia artificial (IA) y el internet de las cosas (IoT) en smart logistic mejora significativamente la gestión de inventarios al predecir demandas, minimizar el desabastecimiento y reducir los costos operativos. Estas herramientas permiten decisiones más ágiles y precisas, fortaleciendo la capacidad de respuesta frente a las fluctuaciones del mercado.

Las estrategias de smart logistic contribuyen a la sostenibilidad mediante la optimización de rutas, el uso de vehículos eléctricos y la digitalización de procesos. Estas acciones reducen el consumo energético y las emisiones de carbono, ayudando a las empresas a cumplir con los objetivos globales de sostenibilidad y fortaleciendo su responsabilidad social.

A pesar de los beneficios, las empresas enfrentan desafíos importantes al adoptar smart logistic, como la resistencia al cambio, la falta de infraestructura tecnológica y las inversiones iniciales. Superar estos obstáculos requiere una estrategia clara, incluyendo la capacitación del personal, la interoperabilidad de sistemas y la gestión adecuada del cambio organizacional.

La automatización y el uso de sistemas inteligentes en los centros de distribución han incrementado la seguridad operativa y reducido significativamente los errores humanos. Estas tecnologías mejoran la precisión en las operaciones, fortalecen la confiabilidad de las cadenas de suministro y reducen las pérdidas asociadas a fallos operativos.

### Recomendaciones

Se recomienda a las empresas destinar recursos a la adquisición e integración de herramientas como la inteligencia artificial (IA), el internet de las cosas (IoT), big data y sistemas de automatización para optimizar sus operaciones logísticas. Estas tecnologías son fundamentales para garantizar la eficiencia y la competitividad en un mercado globalizado.

Es esencial fomentar una cultura organizacional que valore la innovación y esté abierta al cambio. Programas de sensibilización, talleres sobre el impacto de smart logistic y la inclusión de los empleados en el proceso de transformación tecnológica pueden facilitar la aceptación y adopción de estas herramientas.

Con base en los desafíos identificados en la adopción de tecnologías, se recomienda implementar programas de capacitación y sensibilización para empleados, además de fomentar una cultura organizacional orientada a la innovación. Esto facilitará la integración de smart logistic en entornos tradicionales.

Considerando la mejora en la seguridad operativa y la reducción de errores, es esencial que las empresas inviertan en tecnologías como sensores de IoT, sistemas de monitoreo en tiempo real y robótica para automatizar procesos críticos. Esto aumentará la precisión y reducirá las pérdidas en los centros de distribución.

## 7. Literatura citada

- ABED, AM, ALARJANI, A., SEDDEK, LF Y ELATTAR, S. (2024). REDUZCA EL TIEMPO DE ENTREGA Y LOS COSTOS RELACIONADOS EN UN SISTEMA DE SOLICITUDES CAÓTICAS A TRAVÉS DEL MODELO LEAN-HEIJUNKA PARA MEJORAR LA RUTA LOGÍSTICA HAMILTONIANA. RESULTADOS EN INGENIERÍA, 21, 101745. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.RINENG.2023.101745](https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101745)
- BECKERS, J. Y CANT, J. (2024). MEDIA DÉCADA EN DOS AÑOS: EL TRANSPORTE DOMÉSTICO TRAS EL COVID-19. RESEÑAS DE TRANSPORTE, 44 (2), 544–565. [HTTPS://DOI.ORG/10.1080/01441647.2023.2266859](https://doi.org/10.1080/01441647.2023.2266859)
- BUI, LTC, CARVALHO, M., PHAM, HT, DUONG, ATB Y TRUONG QUANG, H. (2022). GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LA CADENA DE SUMINISTRO 4.0: MARCOS CONCEPTUALES Y DE MADUREZ. REVISTA INTERNACIONAL DE GESTIÓN DE LA CALIDAD Y LA FIABILIDAD. [HTTPS://DOI.ORG/10.1108/IJ-QRM-07-2021-0251](https://doi.org/10.1108/IJ-QRM-07-2021-0251)
- CHOU, T.-H., CHEN, Y.-S., PAN, C.-W. Y CHANG, H.-H. (2024). UNA BÁSCULA INTELIGENTE PARA UNA GESTIÓN EFICIENTE DEL INVENTARIO BASADA EN PRINCIPIOS DE INVESTIGACIÓN DE LA CIENCIA DEL DISEÑO. ECONOMÍA CONTEMPORÁNEA, 18 (2), 153–170.
- DUPONT, P., MARTIN, E. Y LECLERC, A. (2022). SOSTENIBILIDAD Y LOGÍSTICA INTELIGENTE: UNA PERSPECTIVA EUROPEA. REVISTA EUROPEA DE GESTIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO, 18(4), 245-260. [HTTPS://DOI.ORG/10.5678/EJSCM.2022.45678](https://doi.org/10.5678/EJSCM.2022.45678)
- ÉL, Z. (2020). LOS DESAFÍOS EN MATERIA DE SOSTENIBILIDAD DEL DISEÑO DE REDES DE TRANSPORTE URBANO DE MERCANCÍAS Y LAS INNOVACIONES EN SU DISTRIBUCIÓN: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA. REVISTA INTERNACIONAL DE GESTIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN FÍSICA Y LOGÍSTICA, 50 (6), 601–640. [HTTPS://DOI.ORG/10.1108/IJPDLM-05-2019-0154](https://doi.org/10.1108/IJPDLM-05-2019-0154)
- FATTAHI, P., ANSARI, N. Y SHIRI, M. (2025). EL PAPEL DE LA TECNOLOGÍA DE DRONES Y LA APLICACIÓN DE IoT EN LA CADENA DE SUMINISTRO DE VACUNAS DURANTE UNA PANDEMIA EN UN ENTORNO INCIERTO: UN ESTUDIO DE CASO REAL DE COVID-19 EN IRÁN. REVISTA DE INNOVACIÓN ABIERTA: TECNOLOGÍA, MERCADO Y COMPLEJIDAD, 193, 103831. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.TRE.2024.103831](https://doi.org/10.1016/j.tre.2024.103831)
- GARCÍA, L., FERNÁNDEZ, M., Y LÓPEZ, J. (2023). LOGÍSTICA VERDE Y CADENAS DE SUMINISTRO INTELIGENTES: ESTRATEGIAS PARA LA SOSTENIBILIDAD. JOURNAL OF SUSTAINABLE OPERATIONS, 12(3), 123-138. [HTTPS://DOI.ORG/10.1234/GREENLOG.2023.12345](https://doi.org/10.1234/GREENLOG.2023.12345)

- JIN, J. (2022). EL MÉTODO DE SELECCIÓN INTELIGENTE DE SITIOS DE DISTRIBUCIÓN IMPULSADO POR EL ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN INTELIGENTE. *SISTEMAS DE INFORMACIÓN MÓVILES*, 2022, 9266844. [HTTPS://DOI.ORG/10.1155/2022/9266844](https://doi.org/10.1155/2022/9266844)
- JOHNSON, R., THOMPSON, D. Y PATEL, S. (2023). IA EN LA ENTREGA DE ÚLTIMA MILLA: UN ESTUDIO DE CASO DE EE. UU.. *REVISTA INTERNACIONAL DE INNOVACIÓN LOGÍSTICA*, 10(1), 54-72. [HTTPS://DOI.ORG/10.7890/INTL.LOG.2023.90876](https://doi.org/10.7890/intl.log.2023.90876)
- KIM, H., PARK, J. Y LEE, S. (2020). APLICACIONES DE IoT EN LOGÍSTICA INTELIGENTE: MEJORA DE LA TRAZABILIDAD Y LA EFICIENCIA. *ASIAN LOGISTICS REVIEW*, 15(2), 89-105. [HTTPS://DOI.ORG/10.1234/ASIALOG.REV.2020.56789](https://doi.org/10.1234/asialog.rev.2020.56789)
- KUMAR, S., RAUT, RD, PRIYADARSHINEE, P. Y NARKHEDE, BE (2023). EXPLORANDO PRÁCTICAS DE GESTIÓN DE ALMACENES PARA LA ADOPCIÓN DE IoT-BLOCKCHAIN. *FORO DE LA CADENA DE SUMINISTRO*, 24 (1), 43–58. [HTTPS://DOI.ORG/10.1080/16258312.2022.2082852](https://doi.org/10.1080/16258312.2022.2082852)
- MATTOS, CA, CORREIA, FC Y KISSIMOTO, KO (2024). CAPACIDADES DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA EL PROCESO DE PLANIFICACIÓN DE LA DEMANDA. *LOGÍSTICA*, 8 (2), 53. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/LOGISTICS8020053](https://doi.org/10.3390/logistics8020053)
- NITSCHKE, B., STRAUBE, F. Y WIRTH, M. (2021). ÁREAS DE APLICACIÓN Y ANTECEDENTES DE LA AUTOMATIZACIÓN EN LA GESTIÓN LOGÍSTICA Y DE LA CADENA DE SUMINISTRO: UN MARCO CONCEPTUAL. *FORO DE LA CADENA DE SUMINISTRO*, 22 (3), 223–239. [HTTPS://DOI.ORG/10.1080/16258312.2021.1934106](https://doi.org/10.1080/16258312.2021.1934106)
- OLIVEIRA, R., COSTA, P., Y ALMEIDA, M. (2021). BLOCKCHAIN EN LOGÍSTICA INTELIGENTE: DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES. *LOGISTICS AND TECHNOLOGY QUARTERLY*, 14(3), 199-216. [HTTPS://DOI.ORG/10.4567/LOGTECH.2021.14256](https://doi.org/10.4567/logtech.2021.14256)
- PEROTTI, S., BASTIDAS SANTACRUZ, RF, BREMER, P. Y BEER, JE (2022). LOGÍSTICA 4.0 EN EL ALMACENAMIENTO: UN MARCO CONCEPTUAL DE FACTORES DE INFLUENCIA, BENEFICIOS Y BARRERAS. *REVISTA INTERNACIONAL DE GESTIÓN LOGÍSTICA*, 33 (5), 193–220. [HTTPS://DOI.ORG/10.1108/IJLM-02-2022-0068](https://doi.org/10.1108/IJLM-02-2022-0068)
- PONIS, ST Y EFTHYMIU, OK (2020). APLICACIONES DE LA NUBE Y DEL IoT EN LA AUTOMATIZACIÓN DEL MANEJO DE MATERIALES Y LA INTRALOGÍSTICA. *LOGÍSTICA*, 4 (3), 22. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/LOGISTICS4030022](https://doi.org/10.3390/logistics4030022)
- SCHNIEDER, M. (2024). VISUALIZACIÓN DE LA CONSOLIDACIÓN DE TRANSPORTISTAS Y UBICACIONES DE ENTREGA ALTERNATIVAS: UN MODELO DIGITAL DE ENTREGA DE ÚLTIMA MILLA EN INGLATERRA Y GALES. *LOGÍSTICA*, 8 (3), 77. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/LOGISTICS8030077](https://doi.org/10.3390/logistics8030077)
- SHI, Y., LIN, Y., LIM, MK, TAN, C. Y LI, Y. (2022). UN SISTEMA DE PROGRAMACIÓN VERDE INTELIGENTE PARA UNA LOGÍSTICA DE CADENA DE FRÍO SOSTENIBLE. *SISTEMAS EXPERTOS CON APLICACIONES*, 209, 118378. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.ESWA.2022.118378](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118378)

- SINGH, A., GUPTA, R. Y SHARMA, P. (2021). TRANSFORMACIÓN DIGITAL EN LA LOGÍSTICA DE LOS MERCADOS EMERGENTES: SUPERANDO BARRERAS. *JOURNAL OF EMERGING MARKET SUPPLY CHAINS*, 9(4), 302-317. [HTTPS://DOI.ORG/10.9876/EMSC.2021.98765](https://doi.org/10.9876/emsc.2021.98765)
- SONG, Y., YU, FR, ZHOU, L., YANG, X. Y HE, Z. (2021). APLICACIONES DE INTERNET DE LAS COSAS (IoT) EN LA LOGÍSTICA INTELIGENTE: UN ESTUDIO EXHAUSTIVO. *REVISTA IEEE SOBRE INTERNET DE LAS COSAS*, 8 (6), 4250–4274. [HTTPS://DOI.ORG/10.1109/JIOT.2020.3034385](https://doi.org/10.1109/jiot.2020.3034385)
- TANAKA, Y., NAKAMURA, K. Y SUZUKI, H. (2019). ROBÓTICA Y AUTOMATIZACIÓN EN LA LOGÍSTICA JAPONESA: MEJORA DE LA SEGURIDAD OPERATIVA. *ASIAN INDUSTRIAL SYSTEMS JOURNAL*, 11(2), 66-80. [HTTPS://DOI.ORG/10.4321/ASIAN.IND.2019.22435](https://doi.org/10.4321/asian.ind.2019.22435)
- VEDAPRADHA, R., JOSHI, D. Y HARIHARAN, R. (2024). PRIORIZAR LOS CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE LAS EMPRESAS EMERGENTES DE ALMACENAMIENTO IMPULSADAS POR IoT: UN RAYO DE LUZ PARA EL SECTOR NO ORGANIZADO EN LA CADENA DE SUMINISTRO DE ALIMENTOS. *REVISTA INTERNACIONAL DE GESTIÓN LOGÍSTICA*. [HTTPS://DOI.ORG/10.1108/IJLM-12-2023-0509](https://doi.org/10.1108/IJLM-12-2023-0509)
- WANG, Q., LI, Z. Y ZHAO, X. (2021). LOGÍSTICA INTELIGENTE BASADA EN IA E IoT EN LA GESTIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO. *JOURNAL OF ADVANCED LOGISTICS*, 13(1), 17-33. [HTTPS://DOI.ORG/10.5678/JALOG.2021.12456](https://doi.org/10.5678/jalog.2021.12456)
- WINKELHAUS, S., GROSSE, EH Y MORANA, S. (2021). HACIA UNA CONCEPTUALIZACIÓN DEL ORDER PICKING 4.0. *INGENIERÍA INFORMÁTICA E INDUSTRIAL*, 159, 107511. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.CIE.2021.107511](https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107511)

# Reducción de los tiempos de entrega de suministros mediante la evaluación y redistribución de proveedores en una empresa metalmecánica

Ing. Eliete Mariel Bazán Panana  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Correo electrónico: eliete.bazan@unmsm.edu.pe

Ing. Luis Ángel Unocc Fernández  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Correo electrónico: luisunocc.f@unmsm.edu.pe

**Resumen:** En el presente artículo se plantea como objetivo reducir los tiempos de entrega de repuestos y componentes desde los proveedores hacia el almacén de repuestos (ARP) mediante un proceso de evaluación de proveedores. Actualmente, los retrasos en las entregas afectan significativamente la eficiencia operativa, debido a deficiencias en el proceso de compras, tales como la ausencia de evaluación sistemática de proveedores y una planificación inadecuada. Para identificar las causas raíz del problema, se aplicaron herramientas cualitativas y cuantitativas como el diagrama de Ishikawa y la matriz FACTIS. El análisis evidenció que los principales factores críticos eran: quiebre de stock, ausencia de stock de seguridad, ausencia de procedimientos estandarizados en el área de compras y los proveedores actuales no cumplen con los plazos de entrega. Como propuesta de mejora, se plantea la implementación del método de ponderación multicriterio para la selección y evaluación de proveedores, considerando su impacto en la reducción de los tiempos de entrega y la optimización de la cadena de suministro interna, especialmente en empresas del sector metalmecánico. Como resultado, se logró reducir el tiempo promedio de entrega, pasando de 23.94 días a 20.60 días, lo que representa una reducción de 3.34 días, equivalente al 13.94%. Esta mejora ha sido validada estadísticamente mediante la prueba t de Student para muestras relacionadas, confirmando que la disminución es significativa.

**Palabras clave:** Tiempos de entrega/ Evaluación de proveedores/ Compras/ Cadena de suministro/ Eficiencia operativa.

**Abstract:** This article aims to reduce the delivery times of spare parts and components from suppliers to the spare parts warehouse (ARP) through a structured supplier evaluation process. Currently, delivery delays significantly affect operational efficiency due to deficiencies in the purchasing process, such as the lack of systematic supplier evaluation and inadequate planning. To identify the root causes of the problem, both qualitative and quantitative tools were applied, such as the Ishikawa diagram and the FACTIS matrix. The analysis revealed that the main critical factors were: stockouts, lack of safety stock, absence of standardized procedures in the purchasing area, and current suppliers failing to meet delivery deadlines. As a proposed improvement, the imple-

mentation of the Multi-Criteria Decision-Making method is suggested for supplier selection and evaluation, given its potential to reduce delivery times and optimize the internal supply chain, especially in companies within the metalworking sector. As a result, the average delivery time was reduced from 23.94 days to 20.60 days, representing a reduction of 3.34 days or 13.94%. This improvement was statistically validated using the paired Student's t-test, confirming that the reduction is significant.

**Keywords:** Delivery time/ Supplier evaluation/ Purchasing/ Supply chain/ Operational efficiency.

**Résumé :** Cet article vise à réduire les délais de livraison des pièces de rechange et des composants depuis les fournisseurs vers le magasin de pièces de rechange (MPR), en mettant en œuvre un processus structuré d'évaluation des fournisseurs. Actuellement, les retards de livraison affectent de manière significative l'efficacité opérationnelle, en raison de lacunes dans le processus d'achat, telles que l'absence d'une évaluation systématique des fournisseurs et une planification inadéquate. Pour identifier les causes profondes du problème, des outils qualitatifs et quantitatifs ont été appliqués, tels que le diagramme d'Ishikawa et la matrice FACTIS. L'analyse a révélé que les principaux facteurs critiques étaient : les ruptures de stock, l'absence de stock de sécurité, l'absence de procédures standardisées dans le service des achats et le non-respect des délais de livraison par les fournisseurs actuels. Comme solution d'amélioration, la mise en œuvre de la méthode de pondération multicritère est proposée pour la sélection et l'évaluation des fournisseurs, en raison de son impact potentiel sur la réduction des délais de livraison et l'optimisation de la chaîne d'approvisionnement interne, en particulier dans les entreprises du secteur métallurgique. En conséquence, le délai moyen de livraison est passé de 23,94 jours à 20,60 jours, soit une réduction de 3,34 jours, équivalente à 13,94 %. Cette amélioration a été validée statistiquement au moyen du test t de Student pour échantillons appariés, confirmant que la réduction est significative.

**Mots-clés:** Délai de livraison/ Évaluation des fournisseurs/ Achats/ Chaîne d'approvisionnement/ Efficacité opérationnelle.

## 1. Introducción

En la era de la globalización, la optimización de la cadena de suministro es un factor determinante para la competitividad de las empresas manufactureras (Christopher, 2016). Países líderes en producción industrial, como Alemania, Japón y Estados Unidos, han logrado reducir significativamente sus tiempos de entrega mediante la integración de tecnologías avanzadas, modelos de evaluación de proveedores y estrategias de lean supply chain (Li & Dai, 2020). Sin embargo, en economías emergentes, como las de América Latina, muchas empresas aún enfrentan desafíos críticos en la gestión de sus procesos logísticos, lo que impacta directamente en su eficiencia operativa.

En el sector metalmecánico peruano, estos problemas se acentúan debido a la falta de estandarización en los procesos de compras, la escasa evaluación sistemática de proveedores y la ausencia de indicadores claros para medir el desempeño logístico

(ASIMET, 2023). Estas limitaciones generan retrasos recurrentes en el abastecimiento de insumos, incrementando los costos por paradas de producción y afectando la confiabilidad de la cadena de suministro interna. En sectores industriales como el metal-mecánico, donde la disponibilidad de repuestos y componentes es crítica para el mantenimiento y operación de maquinaria, cualquier retraso en la entrega puede generar paradas productivas costosas y pérdida de eficiencia.

Frente a esta problemática, se hace necesario adoptar un enfoque integral que permita mejorar la toma de decisiones en la selección de proveedores. Para ello, el uso de herramientas de diagnóstico como el diagrama de Ishikawa y la matriz FACTIS facilita la identificación de causas raíz, mientras que metodologías como el "método de decisión multicriterio" permiten priorizar y seleccionar proveedores más confiables y eficientes.

En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo optimizar los tiempos de entrega de repuestos y componentes mediante la evaluación y redistribución de proveedores en una empresa del sector metalmeccánico, logrando no solo una mejora significativa en el desempeño logístico, sino también una contribución directa a la eficiencia operativa de la organización. En este contexto, la empresa presenta una valoración promedio de los proveedores en 2.1 y un tiempo de entrega promedio de los proveedores hacia el almacén de repuestos (ARP) de 23.94 días.

## **2. Material y métodos**

### **2.1. Materiales**

- Registros históricos de las órdenes de compras.
- Listado de proveedores.
- Software de apoyo: Excel.
- Entrevista al analista de compras.

### **2.2. Métodos**

Para identificar, analizar y priorizar las causas que originan los problemas en el área de compras de entrega de repuestos y componentes desde los proveedores, se emplearon herramientas de análisis cualitativo y cuantitativo, con el objetivo de proponer soluciones concretas y viables.

#### **2.2.1. Diagrama de Ishikawa**

La primera herramienta que se utilizó fue el diagrama de Ishikawa (o de causa-efecto) como herramienta cualitativa para identificar las causas raíz del problema central. Las categorías consideradas fueron: Recursos humanos, stock, métodos, infraestructura, tecnología de la información (TI), equipos y medición. A partir de sesiones de análisis interno y revisión de procesos, se identificaron 20 causas raíz agrupadas en dichas categorías. (Torrejón, 2020)

Para priorizarlas sistemáticamente, se implementó una matriz de evaluación cuantitativa basada en dos dimensiones críticas: "impacto", cuya valoración está detallada en la tabla 1 y "prioridad", cuya valoración se encuentra especificada en tabla 2. Cada causa fue evaluada y recibió un puntaje compuesto (Impacto \* Prioridad), donde el máximo teórico era 15 puntos. Se estableció como umbral de atención prioritaria aquellas causas con puntuación más alta, lo que permitió enfocar recursos en los factores más críticos. (Silva, 2024)

**Tabla N° 1:** Puntaje de Impacto de las causas-raíz del diagrama de Ishikawa

Impacto	Puntaje
Muy Poco	1
Poco	2
No impacta	3
Alto	4
Muy Alto	5

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla N° 2:** Puntaje de Prioridad de las causas-raíz del diagrama de Ishikawa

Prioridad	Puntaje
Baja	1
Media	2
Alta	3

**Fuente:** Elaboración propia

### 2.2.2. Matriz FACTIS

Se aplicó la matriz FACTIS, para priorizar las propuestas, que se plantearon a partir de las cuatro causas cuyos puntajes fueron más altos. Esta es una herramienta cuantitativa que permite evaluar propuestas de mejora considerando seis criterios: Facilidad para implementarlo, afectación a otras áreas, calidad (nivel de mejora que aporta), tiempo requerido para implementar, inversión necesaria, seguridad que aporta al proceso. Cada criterio fue ponderado según su importancia relativa dentro del contexto del estudio, como se detalla a continuación en la tabla 3. (Torrejón, 2020)

**Tabla N° 3:** Criterios de selección de la Matriz FACTIS

Criterios		Calificación		
F	Facilidad para implementarlo	1: Muy difícil	2: Difícil	3: Fácil
A	Afecta a otras áreas	1: Sí	3: Algo	5: Nada
C	Mejora Calidad	1: Poco	3: Medio	5: Mucho
T	Tiempo que implica implementarlo	1: Largo	2: Medio	3: Corto
I	Nivel de Inversión	1: Alto	3: Medio	5: Poco
S	Mejora Seguridad	1: Poco	2: Medio	3: Mucho

**Fuente:** Elaboración propia

Luego, cada propuesta fue calificada según su nivel de cumplimiento en cada criterio, utilizando las escalas definidas en la matriz. El puntaje final de cada propuesta se obtuvo multiplicando su valoración por el peso asignado a cada criterio.

### 2.2.3. Matriz evaluación de proveedores

Para complementar el proceso de mejora del área de compras y asegurar la selección de proveedores que contribuyan a la reducción de los tiempos de entrega al cliente interno, se utilizó la "matriz de evaluación de proveedores" como herramienta de análisis cuantitativo y estratégico.

Esta matriz permite evaluar el desempeño de los proveedores actuales y potenciales bajo criterios previamente definidos, con el fin de identificar aquellos que ofrecen un mejor cumplimiento en función de las necesidades logísticas y operativas del almacén de repuestos (ARP) y su relación con la cadena de valor de la empresa.

### 2.2.4. Prueba de t student

Es una herramienta estadística que se utiliza para determinar si existe una diferencia significativa entre las medias de dos grupos. Funciona comparando la diferencia observada entre las medias con la variabilidad dentro de los grupos. Si la diferencia es suficientemente grande en relación con la variabilidad, se puede concluir que no es producto del azar. Existen distintos tipos de esta prueba: t para muestras independientes: compara las medias de dos grupos distintos, t para muestras relacionadas (o pareadas): compara dos medidas del mismo grupo (por ejemplo, antes y después de un tratamiento) y t para una muestra: compara la media de un grupo con un valor conocido. En todos los casos, se calcula un estadístico t y se compara con un valor crítico (según el nivel de significancia y los grados de libertad) para decidir si se rechaza o no la hipótesis nula (que plantea que no hay diferencia). (Llauce et al., 2024)

### 3. Resultados

Para identificar las causas raíz del problema que afecta al área de materia prima, se utilizó el diagrama de Ishikawa o llamado diagrama de causa-efecto. Esta herramienta permitió descomponer las distintas posibles fuentes del problema: Retrasos en el tiempo de entrega de repuestos y componentes, como se observa en la figura 1.

**Figura N° 1:** Diagrama de Ishikawa del ARP de una empresa metalmecánica



Fuente: Elaboración propia

Después de determinarlas, se definieron las causas-raíz más relevantes, las cuales son valoradas en función de su "impacto" y "prioridad", teniendo en cuenta los objetivos estratégicos del área de compras del ARP de una empresa metalmecánica. Se obtuvo el puntaje de cada causa-raíz, encontrándose con cuatro causas principales, cuyo valor fue de 15 puntos, el máximo posible a obtener. En la figura 2 se visualiza la calificación de cada una de las causas-raíz.

**Figura N° 2:** Puntaje de cada causa-raíz del diagrama de Ishikawa

CAUSA RAÍZ	TIPO	IMPACTO	PRIORIDAD	PUNTAJE
Falta de capacitación del personal	PERSONAL	4	2	8
Alta rotación de personal	PERSONAL	3	1	3
Errores en el registro de entregas	PERSONAL	4	3	12
Falta de responsabilidad asignada al seguimiento de pedidos	PERSONAL	4	3	12
Quiebre de stock frecuente	STOCKS	5	3	15
Falta de codificación o identificación adecuada	STOCKS	4	2	8
Ausencia de stock de seguridad	STOCKS	5	3	15
Inventario desactualizado	STOCKS	4	2	8
Ausencia de procedimientos estandarizados en el Área de Compras	MÉTODOS	5	3	15
Retrasos en aprobación de ordenes de compra de los proveedores	MÉTODOS	4	3	12
Pedidos urgentes no planificados	MÉTODOS	4	3	12
Los proveedores actuales no cumplen con los plazos de entrega	MÉTODOS	5	3	15
Sistema ERP no integrado	MAQUINARIA	4	3	12
Falta de conectividad entre áreas	MAQUINARIA	4	2	8
Equipos antiguos o ineficientes	MAQUINARIA	3	2	6
Falta de automatización en el proceso	MAQUINARIA	4	3	12
Falta de KPI para tiempos de entrega	MEDICIÓN	4	2	8
Datos de entrega no actualizados a tiempo real	PERSONAL	4	3	12
Desconocimiento de tiempos estándar de entrega	PERSONAL	4	2	8
Reportes manuales y poco confiables	PERSONAL	3	2	6

**Fuente:** Elaboración propia

A cada una de estas causas se le asignó una propuesta de mejora respaldada por bibliografía especializada.

Las cuatro causas principales fueron: para el quiebre de stock frecuente, se plantea mejorar la gestión de inventarios de la empresa (Sánchez, 2021); para la ausencia de stock de seguridad, se propone la aplicación del modelo DDMRP (Demand Driven MRP) para el pronóstico de demanda, sustentado por León y Valverde (2024); para la ausencia de procedimientos estandarizados en el área de compras, se sugiere implementar una gestión de mejora continua del proceso de adquisiciones (Napuri et al., 2024); y finalmente, para la causa relacionada con que los proveedores actuales no cumplen con los tiempos de entrega, se propone implementar un método de evaluación de proveedores (Reyes, 2013).

**Figura N° 3:** Propuestas de mejora para causas-raíz más relevantes

Causa raíz	Propuesta de mejora
Quiebre de stock frecuente	Mejorar la gestión de inventarios de la empresa
Ausencia de stock de seguridad	Aplicación del DDMRP para el pronóstico de demanda
Ausencia de procedimientos estandarizados en el Área de Compras	Implementar gestión de mejora continua del proceso de compras
Los proveedores actuales no cumplen con los plazos de entrega	Implementar un método de evaluación de proveedores

**Fuente:** Elaboración propia

Una vez definidas las propuestas de mejora, se procedió a analizar su viabilidad mediante la aplicación de la matriz FACTIS, herramienta que contempla seis criterios previamente ponderados según su relevancia para el proyecto. En primer lugar, se asignó un peso a cada criterio considerando su grado de importancia; por ejemplo, el criterio de "seguridad" obtuvo una ponderación media, ya que, en este caso, no tiene la misma relevancia que otros criterios como "inversión" o "calidad". Posteriormente, se evaluaron cada una de las propuestas de mejora en función de dichos criterios, utilizando las calificaciones establecidas en la tabla 3.

**Figura N° 4: Valoración de las propuestas**

		Ponderación					
		3	3	5	3	5	3
N°	Propuestas de mejora	Facilidad	Afecta	Calidad	Tiempo	Inversión	Seguridad
Propuesta 1	Mejorar la gestión de inventarios de la empresa	3	3	3	3	3	2
Propuesta 2	Aplicación del DDMRP para el pronóstico de demanda	2	5	5	2	1	2
Propuesta 3	Implementar gestión de mejora continua del proceso de compras	2	3	5	3	3	2
Propuesta 4	Implementar un método de evaluación de proveedores	3	3	5	3	5	2

Fuente: Elaboración propia

Como resultado de este análisis, cada propuesta obtuvo un puntaje total. La propuesta "implementar un método de evaluación de proveedores" alcanzó el mayor puntaje con 83 puntos, por lo que fue seleccionada para su desarrollo. Esta elección se puede observar en la figura 5.

**Figura N° 5: Puntaje total de las propuestas**

		Puntaje Total						Puntaje Total
		F	A	C	T	I	S	
Propuesta 1	Mejorar la gestión de inventarios de la empresa	9	9	15	9	15	6	63
Propuesta 2	Aplicación del DDMRP para el pronóstico de demanda	6	15	25	6	5	6	63
Propuesta 3	Implementar gestión de mejora continua del proceso de compras	6	9	25	9	15	6	70
Propuesta 4	Implementar un método de evaluación de proveedores	9	9	25	9	25	6	83

Fuente: Elaboración propia

Para llevar a cabo esta propuesta, se evaluaron diferentes métodos existentes para la selección y evaluación de proveedores. De acuerdo con Naveen, Singh y Upadhyay (2020), en su artículo científico publicado en el International Journal of Sustainable Engineering, el método de ponderación multicriterio (MCDM) se presenta como el más adecuado debido a su simplicidad, flexibilidad y capacidad de incorporar múltiples criterios relevantes en la toma de decisiones. Por lo tanto, se trabajará con esta metodología para desarrollar e implementar la propuesta seleccionada.

En la empresa se cuenta con un total de 29 proveedores, los cuales serán evaluados mediante una matriz de evaluación basada en cinco criterios clave que son relevantes para los objetivos estratégicos del área de compras de la empresa.

En cumplimiento de las entregas, se considera como óptima una entrega menor a 7 días y así, cada rango está valorado de acuerdo a su tiempo de espera. Además, en la

quinta categoría se considera lo más beneficioso para la empresa, el cual es un pago a 90 días. De igual manera, los demás criterios fueron asignados a un valor de acorde a lo relevante para la empresa. Estos criterios, sus pesos y sus calificaciones se visualizan en la figura 6.

**Figura N°6:** Criterios de evaluación de proveedores de la empresa

Ítem	Valor Fijo	Concepto	Valor Variable	Criterios
1	15%	Certificaciones o cumplimiento normativo	0	Sin referencias comerciales
			1	Pocas referencias comerciales
			2	Buenas referencias comerciales
			3	Excelentes referencias comerciales
2	25%	Cumplimiento en los tiempos de entrega	0	Entregas mayor a 1 mes
			1	Entregas entre 14 y 30 días
			2	Entregas entre 7 y 14 días
			3	Cumple con los plazos de entrega
3	15%	Comunicación y gestión postventa	0	No brinda servicio post-venta
			1	Cobra adicional servicio post-venta
			2	Respuesta de atención no muy rápida
			3	Brinda una rápida y eficaz respuesta de atención
4	25%	Calidad del producto entregado	0	No emite certificado de calidad
			1	Da garantía
			2	Da calidad por lote de producción y da garantía
			3	Emite certificado de calidad por cada envío y garantía
5	20%	Condiciones comerciales (precios, formas de pago)	0	Forma de pago al contado, contraentrega, etc
			1	Mantiene los precios, y forma de pago de 15 a 30 días
			2	Buenos precios y forma de pago de 45 a 60 días
			3	Mejora precios del mercado, y forma de pago a 90 días

**Fuente:** Elaboración propia

A partir de las características previamente definidas para la evaluación, se procede a aplicar el proceso de calificación a cada uno de los proveedores seleccionados.

Esta evaluación permite asignar un puntaje o valor representativo del desempeño de cada proveedor en función de los criterios establecidos. Los resultados obtenidos de este análisis se presentan de manera detallada en la tabla 4, donde se visualiza la calificación final asignada a cada proveedor.

**Tabla N° 4:** Calificación de cada proveedor

<b>PROVEEDOR</b>	<b>VALORACIÓN</b>
CORONEL IMPORT SAC	1.95
EDIPESA	1.3
FUNDICION FAYCONAPI	1.85
FUNDICION FERROSA	2
FUNDICION WISSE	1.55
HIDME PERU	1.45
HIDRO SUPPLY EIRL	2.4
HIDROSTAL	1.8
HIGH TECH SERVICE	1.75
IFLUTECH	1.3
IMDIPSA	2.75
INDUCOM	1
INGESH	1.5
INTECH	2.8
JOPCO	1
LEXACAUCHOS	1.8
METAL MECANICA JBC	1.05
METALMECANICA CAMACHO	0.55
METALMECANICA PULAN	1.75
PEMS SAC	2.75
PERU BOMBAS E.I.R.L.	2.25

RDH SOLUTIONS	1.95
RECOLSA	1.25
REMAVISA S.A.	1.05
RPE SAC	1.55
SEALCO SA	2.2
SIHI PERU	2.25
SSI FLUIDOS	2.5
WDM PUMPS	2

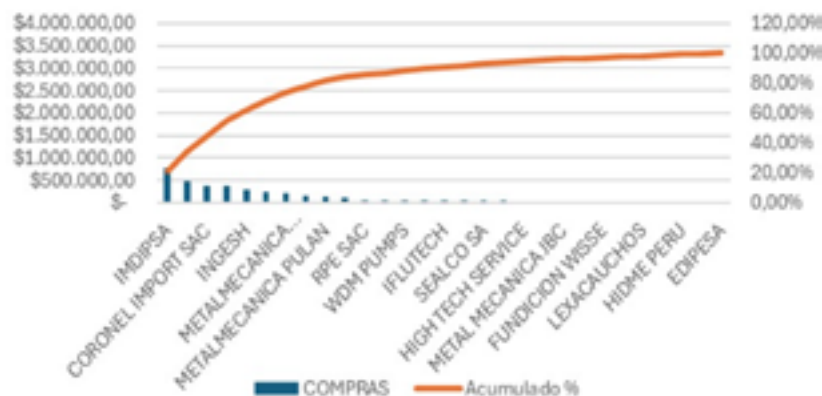
**Fuente:** Elaboración propia

Además de la evaluación cualitativa de desempeño, se procede a realizar un análisis de Pareto de los proveedores, tomando como base la facturación total acumulada de cada uno durante el periodo evaluado. Este análisis permite identificar a los proveedores más relevantes en términos de volumen económico, es decir, aquellos que concentran el mayor porcentaje del valor total de compras. Al aplicar el principio 80/20, se busca determinar qué porcentaje reducido de proveedores representa la mayor parte de la facturación, permitiendo enfocar los esfuerzos de mejora y evaluación continua en este grupo prioritario. De esta manera, se obtiene una visión integral y estratégica que combina el desempeño cualitativo con la importancia económica de cada proveedor dentro del portafolio de abastecimiento de la empresa.

**Figura N° 7:** Total de factura por proveedor en el año 2024

Proveedor	Total Facturación
CORONEL IMPORT SAC	\$ 369,948.60
EDIPE SA	\$ 12,510.00
FUNDICION FAYCONAPI	\$ 38,051.00
FUNDICION FERROSA	\$ 94,774.40
FUNDICION WISSE	\$ 19,840.00
HIDME PERU	\$ 17,130.00
HIDRO SUPPLY EIRL	\$ 22,813.54
HIDROSTAL	\$ 19,525.50
HIGH TECH SERVICE	\$ 30,728.00
IFLUTECH	\$ 43,780.50
IMDIPSA	\$ 769,071.92
INDUCOM	\$ 26,765.20
INGESH	\$ 277,340.00
INTECH	\$ 224,043.13
JOPCO	\$ 17,976.80
LEXACAUCHOS	\$ 19,354.67
METAL MECANICA JBC	\$ 24,690.00
METALMECANICA CAMACHO	\$ 193,410.00
METALMECANICA PULAN	\$ 125,012.00
PEMS SAC	\$ 472,423.22
PERU BOMBAS E.I.R.L	\$ 367,559.71
RDH SOLUTIONS	\$ 164,940.33
RECOLSA	\$ 33,500.00
REMAVISA S.A	\$ 16,380.00
RPE SAC	\$ 53,270.10
SEALCO SA	\$ 36,068.00
SIHI PERU	\$ 51,017.88
SSI FLUIDOS	\$ 45,401.00
WDM PUMPS	\$ 50,598.00
<b>Total general</b>	<b>\$ 3,637,923.50</b>

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura N° 8:** Pareto de los proveedores con relación a su valor de compra 2024

**Fuente:** Elaboración propia

Finalmente, se procede a determinar un KPI clave basado en la distribución de compras por proveedor, con el objetivo de analizar el desempeño conjunto en términos de cumplimiento y relevancia económica. A partir de los datos recopilados, se obtiene un valor en el KPI de valoración de 2.155 y en tiempo de entrega de repuestos y componentes de 23.94 días, el cual está relacionado con el porcentaje acumulado de participación de los proveedores.

**Figura N° 9: Métrica de valoración de cada proveedor**

PROVEEDOR	PARTICIPACIÓN	TIEMPO DE ENTREGA	VALORACIÓN
METALMECANICA CAMACHO	5.316%	28.98	0.55
METALMECANICA PULAN	3.436%	10.17	1.75
LEXACAUCHOS	0.532%	19.16	1.80
CORONEL IMPORT SAC	10.168%	22.07	1.95
INGESH	7.824%	27.44	1.50
RDH SOLUTIONS	4.534%	25.74	1.95
FUNDICION FERROSA	2.605%	9.32	2.00
HIDRO SUPPLY EIRL	0.627%	6.46	2.40
EDIPESA	0.344%	1.00	1.30
IMDIPSA	21.140%	20.06	2.75
RPE SAC	1.464%	13.47	1.55
WDM PUMPS	1.391%	14.00	2.00
PERU BOMBAS E.I.R.L	10.104%	31.46	2.25
INTECH	6.159%	25.16	2.80
SIHI PERU	1.402%	28.27	2.25
SSI FLUIDOS	1.248%	27.75	2.50
FUNDICION FAYCONAPI	1.046%	19.59	1.85
SEALCO SA	0.991%	13.71	2.20
RECOLSA	0.921%	18.00	1.25
HIGH TECH SERVICE	0.845%	26.18	1.75
JOPCO	0.494%	22.88	1.00
REMAVISA S.A	0.450%	26.50	1.05
PEMS SAC	12.986%	31.14	2.75
HIDROSTAL	0.537%	22.56	1.80
IFLUTECH	1.203%	28.18	1.30
INDUCOM	0.736%	32.00	1.00
FUNDICION WISSE	0.545%	15.71	1.55
METAL MECANICA JBC	0.679%	14.00	1.05
HIDME PERU	0.471%	32.83	1.45
<b>KPI ACTUAL</b>		<b>23.94</b>	<b>2.155</b>

**Fuente:** Elaboración propia

Con base en la valoración obtenida por cada proveedor, se procede a clasificarlos en cuatro categorías: A, B, C y D. Esta categorización se realiza según el puntaje total alcanzado por cada uno, en función del porcentaje respecto al puntaje máximo posible. La categoría A (Excelente) agrupa a los proveedores que obtuvieron un puntaje mayor o igual a 2.55, lo que equivale al 85% o más del total. La categoría B (Bueno) incluye a aquellos con puntajes entre 2.10 y 2.54, correspondientes a un rango del 70% al 84%. La categoría C (Regular) considera a los proveedores con puntuaciones entre 1.50 y 2.09, lo que representa entre el 50% y el 69%. Finalmente, la categoría D (Deficiente) comprende a los proveedores que obtuvieron un puntaje inferior a 1.50, es decir, por debajo del 50%. Esta clasificación permite identificar el nivel de desempeño de cada proveedor y orientar acciones estratégicas en función de los resultados obtenidos.

**Figura N° 10:** Clasificación de cada proveedor

PROVEEDOR	CALIFICACION
METALMECANICA CAMACHO	D
METALMECANICA PULAN	C
LEXACAUCHOS	C
CORONEL IMPORT SAC	C
INGESH	C
RDH SOLUTIONS	C
FUNDICION FERROSA	C
HIDRO SUPPLY EIRL	B
EDIPESA	D
IMDIPSA	A
RPE SAC	C
WDM PUMPS	C
PERU BOMBAS E.I.R.L	B
INTECH	A
SIHI PERU	B
SSI FLUIDOS	B
FUNDICION FAYCONAPI	C
SEALCO SA	B
RECOLSA	D
HIGH TECH SERVICE	C
JOPCO	D
REMAMISA S.A	D
PEMS SAC	A
HIDROSTAL	C
IFLUTECH	D
INDUCOM	D
FUNDICION WISSE	C
METAL MECANICA JBC	D
HIDME PERU	D

**Fuente:** Elaboración propia

Se realiza una validación estadística para determinar si existe una diferencia significativa entre las valoraciones promedio de dos grupos: proveedores A/B y proveedores C/D. Queremos comprobar si las valoraciones promedio de los proveedores categorizados como A o B (alta valoración) son estadísticamente diferentes de las valoraciones de los proveedores C o D (baja valoración).

**Figura N° 11:** Agrupación de los proveedores según sus categorías y sus KPI's

CATEGORÍA	N° Proveedores	% Participación	Valoración Promedio
A	3	40.29%	2.77
B	5	14.37%	2.32
C	12	34.73%	1.79
D	9	10.61%	1.11

Categoría	N° Proveedores	% Participación	Valoración
A/B	8	54.66%	2.49
C/D	21	45.34%	1.50

**Fuente:** Elaboración propia

Para la validación estadística de los resultados obtenidos, se aplicó la “prueba t de student” para dos muestras suponiendo varianzas desiguales. En este análisis se plantea como hipótesis nula (Ho) que no existe una diferencia significativa entre las medias de ambos grupos, es decir, que sus valoraciones promedio son estadísticamente similares. De rechazarse esta hipótesis, se podría concluir que las diferencias observadas entre los grupos no son producto del azar, sino que reflejan una verdadera brecha en el desempeño de los proveedores evaluados.

**Figura N° 12: Valoración de los proveedores de acuerdo a su categoría**

Valores A/B	Valores C/D
2.4	0.55
2.75	1.75
2.25	1.8
2.8	1.95
2.25	1.5
2.5	1.95
2.2	2
2.75	1.3
	1.55
	2
	1.85
	1.25
	1.75
	1
	1.05
	1.8
	1.3
	1
	1.55
	1.05
	1.45

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura N° 13:** Resultado de la prueba estadística.

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	Valores A/B	Valores C/D
Media	2.4875	1.4952381
Varianza	0.062678571	0.16447619
Observaciones	8	21
Diferencia hipotética d	0	
Grados de libertad		21
Estadístico t	7.927442592	
P(T<=t) una cola	4.76376E-08	
Valor crítico de t (una c	1.720742903	
P(T<=t) dos colas	9.52752E-08	
Valor crítico de t (dos c	2.079613645	

HERRAMIENTA	1.04083E-07 < 0.05
-------------	--------------------

**Fuente:** Elaboración propia

Posteriormente, se procede a simular un escenario de redistribución de compras, con el propósito de mejorar el desempeño global del portafolio de proveedores. En esta simulación, se plantea re-asignar el volumen de compras actualmente gestionado por proveedores con baja calificación (según la matriz de evaluación) hacia aquellos proveedores que obtuvieron una alta puntuación y han demostrado un mayor nivel de cumplimiento y confiabilidad.

A través de este análisis, se proyecta cómo cambiaría la participación porcentual de los proveedores en la distribución total de compras, permitiendo así tomar decisiones estratégicas basadas en datos objetivos y alineadas con los objetivos del área de compras.

La mayor parte de los proveedores clasificados en la categoría D fueron reasignados al proveedor HIDRO SUPPLY EIRL, debido a que presenta una baja participación en el volumen total de compras y destaca por tener el menor tiempo de entrega entre todos los proveedores evaluados. Del mismo modo, el proveedor clasificado en la categoría C, Coronel Import SAC, fue reasignado a SEACOLSA, ya que este último representa la segunda menor participación y cuenta con el segundo mejor tiempo de entrega, lo que lo posiciona como una alternativa viable y eficiente para asumir dicha redistribución.

**Figura N° 14:** Redistribución de proveedores

HIGH TECH SERVICE	-->	HIDRO SUPPLY EIRL
FUNDICION WISSE	-->	HIDRO SUPPLY EIRL
HIDROSTAL	-->	HIDRO SUPPLY EIRL
LEXACAUCHOS	-->	HIDRO SUPPLY EIRL
METALMECANICA CAMACHO	-->	HIDRO SUPPLY EIRL
IFLUTECH	-->	HIDRO SUPPLY EIRL
RECOLSA	-->	HIDRO SUPPLY EIRL
INDUCOM	-->	HIDRO SUPPLY EIRL
METAL MECANICA JBC	-->	HIDRO SUPPLY EIRL
JOPCO	-->	HIDRO SUPPLY EIRL
HIDME PERU	-->	HIDRO SUPPLY EIRL
REMAVISAS.A	-->	HIDRO SUPPLY EIRL
CORONEL IMPORT SAC	-->	SEALCO SA

**Fuente:** elaboración propia

#### 4. Discusión

La validación estadística nos permite establecer que el resultado no es producto del azar, es decir que se tiene un efecto estadísticamente significativo y que la redistribución tuvo un efecto real; ya que el valor obtenido del valor crítico (p) para dos colas  $9.52752 \times 10^{-8}$  es menor que el estándar de 0.05.

Como resultado de la redistribución de los proveedores, se logró una mejora significativa tanto en la calificación general como en el desempeño logístico. La calificación promedio de los proveedores se incrementó de 2.155 a 2.356, reflejando una mejora en los criterios de evaluación como calidad, cumplimiento y confiabilidad.

Igualmente, el tiempo promedio de entrega se redujo de 23.94 días a 20.59 días, lo que representa una mejora del 13.94%. Esta reducción contribuye directamente a una mayor eficiencia operativa.

**Figura N° 15:** Distribución actual de los proveedores

PROVEEDOR	PARTICIPACIÓN	VALORACIÓN	TIEMPO	CALIFICACIÓN
IMDIPSA	21.140%	2.75	20.06	A
PEMS SAC	12.986%	2.75	31.14	A
INTECH	6.159%	2.80	25.16	A
PERU BOMBAS E.I.R.L	10.104%	2.25	31.46	B
SIHI PERU	1.402%	2.25	28.27	B
SSI FLUIDOS	1.248%	2.50	27.75	B
SEALCO SA	0.991%	2.20	13.71	B
HIDRO SUPPLY EIRL	0.627%	2.40	6.46	B
CORONEL IMPORT SAC	10.169%	1.95	22.07	C
INGESH	7.624%	1.50	27.44	C
RDH SOLUTIONS	4.534%	1.95	25.74	C
METALMECANICA PULAN	3.436%	1.75	10.17	C
FUNDICION FERROSA	2.605%	2.00	9.32	C
RPE SAC	1.464%	1.55	13.47	C
WDM PUMPS	1.391%	2.00	14.00	C
FUNDICION FAYCONAPI	1.046%	1.85	19.59	C
HIGH TECH SERVICE	0.845%	1.75	28.18	C
FUNDICION WISSE	0.545%	1.55	15.71	C
HIDROSTAL	0.537%	1.80	22.56	C
LEXACAUCHOS	0.532%	1.80	19.18	C
METALMECANICA CAMACHO	5.316%	0.55	28.98	D
IFLUTECH	1.203%	1.30	28.18	D
RECOLSA	0.921%	1.25	18.00	D
INDUCOM	0.738%	1.00	32.00	D
METAL MECANICA JBC	0.679%	1.05	14.00	D
JORCO	0.494%	1.00	22.88	D
HIDME PERU	0.471%	1.45	32.83	D
RENAVISA S.A	0.450%	1.05	29.50	D
EDIPESA	0.344%	1.30	1.00	D
<b>KPI ACTUAL</b>		<b>2.155</b>	<b>23.907</b>	

Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 16:** Panorama después de la redistribución

PROVEEDOR	PARTICIPACIÓN	VALORACIÓN	TIEMPO	CALIFICACIÓN
IMDIPSA	21.140%	2.75	20.06	A
PEMS SAC	12.986%	2.75	31.14	A
INTECH	6.159%	2.80	25.16	A
PERU BOMBAS E.I.R.L	10.104%	2.25	31.46	B
SIHI PERU	1.402%	2.25	28.27	B
SSI FLUIDOS	1.248%	2.50	27.75	B
SEALCO SA	11.161%	2.20	13.71	B
HIDRO SUPPLY EIRL	13.356%	2.40	6.46	B
INGESH	7.624%	1.50	27.44	C
RDH SOLUTIONS	4.534%	1.95	25.74	C
METALMECANICA PULAN	3.436%	1.75	10.17	C
FUNDICION FERROSA	2.605%	2.00	9.32	C
RPE SAC	1.464%	1.55	13.47	C
WDM PUMPS	1.391%	2.00	14.00	C
FUNDICION FAYCONAPI	1.046%	1.85	19.59	C
EDIPESA	0.344%	1.30	1.00	C
<b>KPI ACTUAL</b>		<b>2.356</b>	<b>20.599</b>	

Fuente: Elaboración propia

## 5. Agradecimientos

Expresamos nuestro agradecimiento a la Revista de investigación científica Ciencias e Ingeniería, por facilitar el proceso de revisión y publicación de este trabajo científico.

A nuestros padres y familiares, por su apoyo incondicional y constante, que ha sido fundamental en nuestro crecimiento académico y desarrollo personal.

Agradecemos a la Universidad Nacional Mayor de San Marcos por brindarnos la oportunidad de desarrollar este artículo científico, contribuyendo así al fortalecimiento de nuestros conocimientos y competencias académicas."

## 6. Conclusiones

El uso del diagrama de Ishikawa y la matriz FACTIS permitió identificar las principales causas de los retrasos, como el quiebre de stock, la falta de stock de seguridad y la ausencia de procedimientos estandarizados en el área de compras. Las propuestas de mejora, como la implementación de modelos de pronóstico (DDMRP) y la estandarización de procesos, fueron clave para abordar estos problemas.

Los KPI's claves son el tiempo de entrega y la valoración de cada proveedor. Estas métricas permiten evaluar la eficiencia del abastecimiento, identificando si la mayor parte de las adquisiciones provienen de proveedores confiables. Esta información facilita la toma de decisiones en cuanto a la gestión y optimización del portafolio de proveedores.

La redistribución estratégica de proveedores no solo mejoró los tiempos de entrega, sino que también optimizó la valoración de los proveedores, contribuyendo a una mayor eficiencia operativa en la empresa metalmecánica.

La calificación promedio de los proveedores aumentó de 2.155 a 2.356, lo que refleja una mejor selección basada en criterios como calidad, cumplimiento y confiabilidad. Esto demuestra que la metodología de evaluación de proveedores es efectiva para optimizar la cadena de suministro.

La implementación del método de ponderación multicriterio para la evaluación y redistribución de proveedores permitió reducir el tiempo promedio de entrega de 23.94 días a 20.60 días, lo que representa una mejora del 13.94%. Esta reducción fue validada estadísticamente mediante la prueba t de student, confirmando su significancia.

Los resultados destacan la importancia de adoptar herramientas cuantitativas y cualitativas en la gestión de proveedores, especialmente en sectores industriales donde la disponibilidad de repuestos es crítica. Este enfoque puede ser replicado en otras empresas del sector para mejorar su competitividad.

## 7. Literatura Citada

- ASIMET. (2023). INFORME ANUAL DEL SECTOR METALMECÁNICO EN PERÚ: INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD Y LOGÍSTICA. ASOCIACIÓN DE INDUSTRIALES METALÚRGICOS Y METALMECÁNICOS.
- CHRISTOPHER, M. (2016). LOGISTICS & SUPPLY CHAIN MANAGEMENT (5TH ED.). PEARSON.
- LEÓN QUISPE, R. M., & VALVERDE GASPAR, D. O. (2024). MODELO DE MEJORA EN LOS NIVELES DE INVENTARIOS PARA REDUCIR LAS ROTURAS DE STOCK APLICANDO PRONÓSTICOS Y DDMRP EN UNA EMPRESA MANUFACTURERA [TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL, UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS]. REPOSITORIO ACADÉMICO UPC. [HTTPS://REPOSITORIOACADEMICO.UPC.EDU.PE/HANDLE/10757/675595](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/675595)
- LI, L., WANG, Y., & DAI, J. (2020). SUPPLIER SELECTION AND EVALUATION IN LEAN SUPPLY CHAINS: A COMPARATIVE ANALYSIS OF AUTOMOTIVE INDUSTRIES IN GERMANY AND CHINA. INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION ECONOMICS, 222, 107498. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.IJPE.2019.09.022](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.09.022)
- LLAUCE SANTAMARIA, R. Y., SALDAÑA MIRANDA, M. Y., OLIVERA ALDANA, M. F. (2024, DICIEMBRE 30). MONOGRAFÍA PRUEBAS DE HIPÓTESIS T STUDENT [MONOGRAFÍA]. UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN. [HTTPS://REPOSITORIO.UNJ.EDU.PE/BITSTREAM/UNJ/791/1/MONOGRAF%C3%A9DA%20PRUEBAS%20DE%20HIP%C3%B3TESIS\\_T%20STUDENT.PDF](https://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/unj/791/1/MONOGRAF%C3%A9DA%20PRUEBAS%20DE%20HIP%C3%B3TESIS_T%20STUDENT.PDF)
- LOGÍSTICA360. (2025, 8 DE ENERO). DESAFÍOS EN LA INDUSTRIA LOGÍSTICA EN AMÉRICA LATINA 2025. [HTTPS://LOGISTICA360.PE/DESAFIOS-EN-LA-INDUSTRIA-LOGISTICA-EN-AMERICA-LATINA-2025/](https://logistica360.pe/desafios-en-la-industria-logistica-en-america-latina-2025/)
- NAPURI ROSAS, C. P., MÁRQUEZ-MARES PINTO, L. A., ALCA PALOMINO, M. A., & ROCCA ROJAS, E. A. (2024). MEJORA EN LA GESTIÓN DE COMPRAS MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PROCESO SOSTENIBLE PARA PAPELERA NACIONAL [TESIS DE MAESTRÍA, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ]. REPOSITORIO DE TESIS PUCP. [HTTPS://TESIS.PUCP.EDU.PE/ITEMS/4A1F2124-44DB-457E-B7F0-AE66DA577D7C](https://tesis.pucp.edu.pe/items/4a1f2124-44db-457e-b7f0-ae66da577d7c)
- NAVEEN JAIN, A. R. SINGH & R. K. UPADHYAY (2020) SUSTAINABLE SUPPLIER SELECTION UNDER ATTRACTIVE CRITERIA THROUGH FIS AND INTEGRATED FUZZY MCDM TECHNIQUES, INTERNATIONAL JOURNAL OF SUSTAINABLE ENGINEERING, 13:6, 441-462, E: DOI:10.1080/19397038.2020.1737751
- REYES ROJAS, V. R. (2022). PROPUESTA DE MEJORA EN EL PROCESO DE SELECCIÓN DE PROVEEDORES DE UNA EMPRESA DEL SECTOR TEXTIL [TESIS DE LICENCIATURA, UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS]. REPOSITORIO ACADÉMICO UPC. [HTTPS://REPOSITORIOACADEMICO.UPC.EDU.PE/BITSTREAM/HANDLE/10757/315028/REYES\\_VR-REST-TESIS.PDF](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/315028/REYES_VR-REST-TESIS.PDF)
- SÁNCHEZ VERAMENDI, T. R. (2021). MEJORA DE LA GESTIÓN DE INVENTARIOS PARA REDUCIR QUIEBRES DE STOCK EN UNA EMPRESA COMERCIALIZADORA DE PRENDAS DE VESTIR Y CALZADO [TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ]. REPOSITORIO DE TESIS PUCP. [HTTPS://TESIS.PUCP.EDU.PE/ITEMS/91D84817-2808-48C4-8F0F-838CF04C0AA2](https://tesis.pucp.edu.pe/items/91d84817-2808-48c4-8f0f-838cf04c0aa2)

- SILVA FUENTES, A. E. (2024). INCREMENTO DE PRODUCTIVIDAD A TRAVÉS DE LA REDUCCIÓN DE LA ROTACIÓN DEL PERSONAL DE UN CALL CENTER UTILIZANDO DESIGN THINKING Y EL ENFOQUE SOCIOTÉCNICO [TESIS DE MAESTRÍA, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ]. REPOSITORIO PUCP. [HTTPS://TESIS.PUCP.EDU.PE/SERVER/API/CORE/BITSTREAMS/FC5F87E0-2C16-40FF-AD65-AB-867F5A4389/CONTENT](https://tesis.pucp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/FC5F87E0-2C16-40FF-AD65-AB-867F5A4389/content)
- TORREJÓN MAGUIÑA, G. A. (2020). DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE MEJORA EN LA CONTRATACIÓN Y GESTIÓN DE NUEVOS COLABORADORES DE UN BANCO MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA LEAN OFFICE [TESIS DE BACHILLERADO, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ]. REPOSITORIO PUCP. [HTTPS://TESIS.PUCP.EDU.PE/SERVER/API/CORE/BITSTREAMS/EC4E77E0-C55C-4502-9460-E39F2B6F1F60/CONTENT](https://tesis.pucp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/EC4E77E0-C55C-4502-9460-E39F2B6F1F60/content)

## Impacto de la frecuencia de visitas a Amazon, Aliexpress y Temu en las compras de clientes digitales

Sr. Moisés Jardel Pare Mendivil  
Escuela de Educación Superior CERTUS  
Correo electrónico: moisespare009@gmail.com

Srta. Marilyn Giovanna Ávila Huamán  
Escuela de Educación Superior CERTUS  
Correo electrónico: marilynabila71@gmail.com

Srta. Anghelly Ivania Molleda Villarroel  
Escuela de Educación Superior CERTUS  
Correo electrónico: anghellymolle@gmail.com

Sr. Beckham Jopesh Mestanza Benel  
Escuela de Educación Superior CERTUS  
Correo electrónico: beckham.mes@gmail.com

Sr. Carlos Alberto Acedo Rugel  
Escuela de Educación Superior CERTUS  
Correo electrónico: Cacedorugel@gmail.com

**Resumen:** El crecimiento del comercio electrónico ha transformado la forma en que las personas compran, especialmente a través de plataformas como Amazon, Aliexpress y Temu. Sin embargo, no todas las visitas a estas tiendas digitales se traducen automáticamente en compras, lo que plantea interrogantes sobre el verdadero impacto que tiene la frecuencia de navegación en el comportamiento del consumidor. Esta investigación tuvo como objetivo determinar si existe una relación significativa entre el número de visitas a estos sitios web y la cantidad de compras realizadas por clientes digitales en Lima Metropolitana. Para ello, se empleó un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental, correlacional y transversal. La información se recopiló mediante un cuestionario estructurado tipo Likert, aplicado a 160 personas con experiencia en compras en línea. El análisis estadístico, realizado mediante regresión lineal simple, reveló una relación positiva y significativa entre las visitas a las tiendas digitales y las compras efectuadas. El modelo explicó el 60.4% de la variabilidad de las compras, lo que confirma que los usuarios que visitan con mayor frecuencia una tienda en línea tienen más probabilidades de realizar una compra. Estos hallazgos aportan evidencia útil para las plataformas de comercio electrónico, ya que permiten identificar patrones de comportamiento que pueden ser aprovechados para mejorar la experiencia del usuario y aumentar la conversión. Además, refuerzan la importancia de seguir investigando cómo interactúan las personas con los entornos digitales antes de tomar decisiones de compra.

**Palabras clave:** Comercio electrónico/ Comportamiento del consumidor/ Frecuencia de visitas/ Compras digitales/ Regresión lineal simple/ Plataformas en línea.

**Abstract:** The growth of e-commerce has significantly transformed how people shop, especially through platforms such as Amazon, Aliexpress, and Temu. However, not every visit to these digital stores results in a purchase, raising questions about the actual impact of browsing frequency on consumer behavior. This study aimed to determine whether there is a statistically significant relationship between the number of visits to these websites and the number of purchases made by digital customers in Lima Metropolitana. A quantitative approach was applied, using a non-experimental, correlational, and cross-sectional research design. Data were collected through a structured Likert-scale questionnaire administered to 160 individuals with experience in online shopping. The data were analyzed using simple linear regression, which revealed a positive and significant relationship between website visits and purchases. The model explained 60.4% of the variability in the number of purchases, indicating that users who visit digital stores more frequently are more likely to complete a purchase. These findings provide valuable insights for e-commerce platforms by identifying behavioral patterns that can enhance the user experience and increase conversion rates. Moreover, the results underscore the importance of further exploring how people interact with digital environments before making purchasing decisions.

**Keywords:** E-commerce/ Consumer behavior/ Visit frequency/ Online shopping/ Simple linear regression/ Digital platforms.

**Résumé :** L'essor du commerce électronique a transformé les habitudes d'achat, notamment via des plateformes comme Amazon, AliExpress et Temu. Cependant, toutes les visites sur ces sites ne se traduisent pas automatiquement par un achat, ce qui soulève des questions quant à l'impact réel de la fréquence de navigation sur le comportement des consommateurs. Cette étude visait à déterminer s'il existe une corrélation significative entre le nombre de visites sur ces sites et le nombre d'achats effectués par les internautes de la région métropolitaine de Lima. Une approche quantitative a été utilisée, avec un plan d'étude non expérimental, corrélationnel et transversal. Les données ont été recueillies au moyen d'un questionnaire structuré de type Likert, administré à 160 personnes ayant une expérience des achats en ligne. L'analyse statistique, réalisée par régression linéaire simple, a révélé une corrélation positive et significative entre les visites sur les sites marchands et les achats effectués. Le modèle explique 60,4 % de la variabilité des achats, confirmant que les utilisateurs qui visitent plus fréquemment un site marchand sont plus susceptibles d'y effectuer un achat. Ces résultats fournissent des informations précieuses aux plateformes de commerce électronique, car ils permettent d'identifier des schémas comportementaux susceptibles d'améliorer l'expérience utilisateur et d'augmenter les taux de conversion. De plus, elles soulignent l'importance de poursuivre les recherches sur la manière dont les gens interagissent avec les environnements numériques avant de prendre des décisions d'achat.

**Mots-clés :** Commerce électronique/ Comportement du consommateur/ Fréquence des visites/ Achats en ligne/ Régression linéaire simple/ Plateformes en ligne.

## 1. Introducción

En los últimos años, el crecimiento del comercio electrónico ha cambiado radicalmente los hábitos de consumo. Comprar desde casa ya no es una novedad, sino una práctica común que se ha incorporado al estilo de vida de millones de personas en todo el mundo. Plataformas como Amazon, Aliexpress y Temu se han consolidado como líderes en esta transformación, ofreciendo catálogos amplios, precios competitivos y una experiencia de compra ágil que atrae a diferentes perfiles de consumidores. Durante la pandemia, esta tendencia se acentuó notablemente, y muchas personas que antes preferían comprar en tiendas físicas empezaron a hacerlo por internet como medida de protección sanitaria. Este cambio, además de práctico, representó una oportunidad para que las empresas digitales optimizaran sus canales virtuales (Mahuala et al., 2025).

Con el avance de estas plataformas, las empresas se vieron obligadas a mejorar no solo la calidad de sus productos, sino también la estructura de sus sitios web. Elementos como la reputación del negocio, la percepción de seguridad, el tamaño de la tienda o la presentación visual del sitio se volvieron determinantes para generar confianza en los usuarios. De hecho, se ha demostrado que estos factores influyen en que las personas no solo visiten una tienda online, sino que también decidan concretar una compra (De et al., 2023). A medida que la competencia en el entorno digital crece, la experiencia del usuario se ha convertido en una prioridad para las marcas que buscan aumentar su tasa de conversión (Nagesh et al., 2024).

Pese a estos avances, sigue existiendo una pregunta clave: ¿todas las visitas a una tienda online tienen el mismo valor? No necesariamente. Muchas personas pueden entrar a un sitio web por curiosidad, comparar precios o simplemente explorar, sin tener la intención inmediata de comprar. Otras, en cambio, visitan repetidamente un mismo sitio como parte de su proceso de decisión. Esto ha llevado a distintos investigadores a estudiar el comportamiento de navegación del usuario a través de técnicas como el análisis de datos de navegación (clickstream), la minería de patrones y los modelos de cadena de Markov. Sin embargo, aún es difícil determinar con claridad qué tipo de visitas están realmente asociadas a una compra final y cuáles no (Zuo et al., 2022; Pal et al., 2021; Lin et al., 2023).

Además, algunos estudios sugieren que las primeras interacciones con una tienda pueden reflejar un comportamiento exploratorio, y si este patrón se mantiene sin avances, podría indicar que el usuario no tiene una intención real de comprar (Ulitzsch et al., 2022). Es por ello que entender cuántas veces una persona visita una tienda online antes de decidirse a comprar no solo tiene un valor comercial, sino también académico, ya que aporta al análisis del proceso de toma de decisiones del consumidor digital.

En ese marco, el objetivo de esta investigación es determinar si existe una relación estadísticamente significativa entre la frecuencia de visitas a tiendas digitales como Amazon, Aliexpress y Temu, y la cantidad de compras realizadas por clientes digitales en Lima Metropolitana. El estudio adopta un enfoque cuantitativo, con un diseño correlacional, transversal y no experimental, y emplea el análisis de regresión lineal simple para medir la influencia de una variable sobre otra. Esta elección metodológica permite analizar si el número de visitas puede ser considerado un indicador confiable para anticipar la conducta de compra.

La investigación se respalda en tres enfoques teóricos: el modelo de aceptación de tecnología (TAM), que analiza cómo las personas incorporan nuevas herramientas digitales en su vida diaria; la teoría de la difusión de la innovación, que describe cómo las innovaciones tecnológicas se diseminan entre los consumidores; y la teoría de la señalización, que explica cómo ciertos elementos visibles del entorno digital, como la reputación o el diseño del sitio web, influyen en la confianza del comprador (Yu et al., 2024). De esta manera, la presente investigación no solo busca identificar patrones en el comportamiento de los consumidores digitales, sino también ofrecer información útil para que las empresas mejoren su estrategia de ventas en línea. En función de este enfoque, se formula la siguiente pregunta de investigación:

¿En qué medida la frecuencia de visitas a tiendas virtuales como Amazon, Aliexpress y Temu influye en la cantidad de compras realizadas por clientes digitales en Lima Metropolitana?

## **2. Metodología**

### **Diseño**

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental, de tipo correlacional y transversal. Al no manipularse las variables, se trabajó directamente con los datos recogidos de los participantes, observando la relación entre la frecuencia de visitas a sitios web de comercio electrónico y la cantidad de compras realizadas por clientes digitales. Al ser un estudio transversal, la información se recolectó en un único momento, permitiendo analizar la relación entre ambas variables en un contexto temporal específico (Zhang & Huang, 2022; Yu et al., 2024).

### **Participantes**

La muestra estuvo conformada por 160 personas residentes en Lima Metropolitana, seleccionadas mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia. Los participantes fueron usuarios con experiencia en el comercio digital, ya sea por hábito de compra o por razones laborales o académicas vinculadas al entorno online. Se consideraron únicamente aquellos casos en los que los encuestados habían visitado y comprado en plataformas como Amazon, Aliexpress o Temu, y cuyos registros estaban completos y eran consistentes. Esta estrategia permitió recopilar datos relevantes de personas familiarizadas con el comportamiento de compra digital (Droulers & Lacoste-Badie, 2025).

## Instrumentos

Se aplicó un cuestionario estructurado de tipo Likert, diseñado para medir variables relacionadas con los hábitos de navegación, el número de visitas a tiendas virtuales y la cantidad de compras realizadas. El instrumento fue validado por expertos en investigación cuantitativa y obtuvo un índice de confiabilidad alfa de Cronbach de 0.929, lo que indica una alta consistencia interna (Kennedy, 2022; Ikhsanudin et al., 2024). Además, se aplicaron pruebas estadísticas que respaldaron la adecuación del instrumento para su aplicación en estudios correlacionales, como el índice KMO (0.910) y la prueba de esfericidad de Bartlett ( $p < .001$ ).

## Procedimiento

La recolección de datos se llevó a cabo en junio de 2025, mediante un cuestionario difundido a través de formularios en línea. Se garantizó la confidencialidad y anonimato de las respuestas, informando previamente a los participantes sobre los fines académicos del estudio. Antes de proceder con el análisis, se revisaron todos los formularios y se descartaron aquellos que presentaban datos incompletos o inconsistencias. Posteriormente, los registros válidos fueron organizados y codificados, asegurando su calidad para el tratamiento estadístico.

## Análisis de datos

Para el procesamiento y análisis de los datos se utilizó el software estadístico SPSS versión 30. Se realizaron análisis descriptivos para caracterizar el perfil de los participantes y se aplicó una regresión lineal simple con el fin de identificar el grado de relación entre las visitas a sitios web (variable independiente) y las compras realizadas (variable dependiente). Este procedimiento permitió obtener indicadores clave como el coeficiente de correlación, la varianza explicada y la significancia estadística del modelo. También se elaboraron escenarios predictivos con base en la ecuación de regresión obtenida, a fin de ilustrar diferentes perfiles de compradores digitales según su frecuencia de visita.

## 3. Resultados

**Tabla N° 1:** Estadísticas de fiabilidad del instrumento

Ítem	Valor obtenido
Alfa de Cronbach	0.929
Número de ítems	10

**Nota:** La tabla 1 muestra que el cuestionario aplicado alcanzó un alto nivel de confiabilidad, con un alfa de Cronbach de 0.929, lo que indica una excelente consistencia interna en los ítems que evalúan las variables de estudio. **Fuente:**

Elaboración propia

**Tabla N° 2:** Resumen del modelo de regresión lineal simple

Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajustado	Error estándar de la estimación
1	.777	.604	.602	0.62154

**Nota:** La tabla 2 resume los indicadores del modelo de regresión lineal simple, donde se observa una fuerte relación positiva (R = 0.777) entre la frecuencia de visitas y las compras realizadas. El modelo explica el 60.4% de la variabilidad de la variable dependiente. **Fuente:** Elaboración propia

**Tabla N° 3:** Coeficientes del modelo de regresión

Variable	B	Error estándar	Beta estandarizado	t	Sig.
(Constante)	0.679	0.190	—	3.570	<.001
Visitas_Web	0.768	0.049	0.777	15.525	<.001

**Nota:** La tabla 3 presenta los coeficientes de la ecuación de regresión, donde se observa que por cada incremento de una visita, las compras aumentan en promedio 0.768 unidades. La relación es estadísticamente significativa (p < .001). **Fuente:** Elaboración propia

**Tabla N° 4:** Escenarios de compras según frecuencia de visitas

Perfil de usuario	Visitas/mes	Cálculo	Compras predichas/mes
Ocasionales	2	$0.679 + 0.768 \times 2$	2.22
Moderados	5	$0.679 + 0.768 \times 5$	4.52
Frecuentes	10	$0.679 + 0.768 \times 10$	8.36
Intensivos	20	$0.679 + 0.768 \times 20$	16.04
Superactivos	30	$0.679 + 0.768 \times 30$	23.72

**Nota:** La tabla 4 ilustra escenarios simulados según la frecuencia mensual de visitas. Se observa una tendencia creciente: a mayor número de visitas, mayor es la cantidad de compras estimadas, lo que refuerza el modelo predictivo obtenido. **Fuente:** Elaboración propia

#### 4. Discusión

El objetivo principal de esta investigación fue determinar si existe una relación estadísticamente significativa entre la frecuencia de visitas a tiendas digitales como Amazon, Aliexpress y Temu, y la cantidad de compras realizadas por clientes digitales en Lima Metropolitana. A partir de los resultados obtenidos mediante el análisis de regresión lineal simple, se pudo confirmar el cumplimiento de este objetivo.

Los datos muestran una relación positiva y significativa entre ambas variables, con un coeficiente de correlación ( $R = 0.777$ ) que indica una asociación fuerte. Además, el modelo explicó un 60.4% de la variabilidad en las compras a partir del número de visitas a los sitios web, lo cual valida la idea de que los usuarios tienden a comprar más en la medida en que interactúan con mayor frecuencia con estas plataformas digitales.

Este hallazgo es coherente con lo señalado por De et al. (2023), quienes afirman que la confianza del consumidor se construye a partir de su experiencia repetida en la plataforma, influida por factores como el tamaño percibido del negocio y su reputación. Asimismo, los resultados coinciden con Nagesh et al. (2024), quienes sostienen que la experiencia de navegación puede determinar el comportamiento final del cliente en plataformas electrónicas optimizadas.

El estudio también respalda las observaciones de Pal et al. (2021) y Zuo et al. (2022), quienes mencionan que los patrones de navegación permiten anticipar la intención de compra. Aunque dichos autores utilizaron técnicas más complejas como minería de datos y modelos de clickstream, los resultados de este estudio confirman, desde una perspectiva más accesible, que existe un comportamiento consistente: a mayor número de visitas, mayor probabilidad de compra.

Otro aspecto relevante es la percepción del usuario sobre la necesidad de revisar varias veces un sitio web antes de sentirse seguro para comprar, lo cual quedó reflejado en las respuestas de los encuestados y refuerza lo propuesto por Ulitzsch et al. (2022) respecto a cómo el comportamiento exploratorio puede preceder a una decisión de compra sólida.

En términos prácticos, los escenarios simulados en la investigación también son útiles para entender diferentes perfiles de consumidores digitales. Por ejemplo, aquellos que visitan un sitio con mayor frecuencia (clientes intensivos y superactivos) muestran una tendencia clara a realizar más compras, lo cual representa una oportunidad para que las empresas refuercen estrategias de retención y fidelización digital.

En conjunto, estos resultados no solo confirman que la frecuencia de visitas influye directamente en el comportamiento de compra, sino que además aportan evidencia empírica útil para mejorar la toma de decisiones en marketing digital, diseño de plataformas y atención al cliente en el entorno del comercio electrónico.

## 5. Conclusiones

Los resultados obtenidos permiten concluir que existe una relación positiva y estadísticamente significativa entre la frecuencia de visitas a tiendas digitales como Amazon, Aliexpress y Temu, y la cantidad de compras realizadas por clientes digitales. Este hallazgo confirma el objetivo planteado en la investigación y refuerza la idea de que los usuarios no solo navegan por curiosidad, sino que las visitas repetidas a una tienda en línea están asociadas con una mayor probabilidad de compra.

El análisis de regresión lineal simple evidenció que más del 60% de la variabilidad en las compras puede explicarse a partir del número de visitas, lo cual otorga un valor predictivo importante a esta variable. Además, los perfiles simulados de consumidores —desde usuarios ocasionales hasta superactivos— muestran una tendencia clara: a mayor interacción con la plataforma, mayor es la propensión a concretar compras.

Estos resultados no solo validan estudios previos, sino que también aportan evidencia desde el contexto local (Lima Metropolitana), resaltando la importancia de analizar el comportamiento digital en mercados específicos. Asimismo, el estudio demuestra que una metodología estadística accesible como la regresión lineal puede ofrecer resultados valiosos y aplicables para comprender fenómenos relacionados con el comercio electrónico.

## 6. Recomendaciones

### **Para las plataformas de comercio electrónico:**

Se recomienda implementar estrategias que fomenten el retorno frecuente de los usuarios, como notificaciones personalizadas, seguimiento de productos vistos y mejoras en la experiencia de navegación. El incremento en las visitas puede traducirse directamente en un mayor volumen de compras.

### **Para las áreas de marketing digital:**

Es importante enfocar los esfuerzos en campañas de remarketing dirigidas a usuarios recurrentes, ya que estos muestran un mayor potencial de conversión. Identificar patrones de visita permite priorizar recursos hacia audiencias con alta probabilidad de compra.

### **Para los desarrolladores de plataformas:**

Mejorar la estructura del sitio web y facilitar el acceso a información clave en cada visita puede acelerar el proceso de decisión del cliente. Elementos como recomendaciones automáticas, historial de navegación o listas de favoritos pueden fortalecer el vínculo entre visita y compra.

### **Para futuras investigaciones:**

Se sugiere ampliar el estudio a otras regiones o comparar plataformas específicas. También sería útil incorporar variables complementarias como el tipo de producto, el tiempo promedio por visita o el medio de acceso (móvil o PC), para enriquecer el análisis del comportamiento de compra.

### **7. Agradecimiento**

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a la Revista de investigación científica Ciencias e Ingeniería por brindar un espacio abierto y accesible para la publicación de investigaciones. Consideramos que este tipo de iniciativas no solo contribuyen a la democratización del conocimiento, sino que también hacen posible que los estudios lleguen a una audiencia tanto nacional como internacional, superando barreras económicas y geográficas.

Asimismo, valoramos profundamente el rol que han desempeñado las redes sociales en la difusión de nuestro trabajo, ya que han funcionado como un puente efectivo para conectar con personas interesadas en temas que articulan la ciencia, la tecnología y la sociedad.

Nos parece fundamental que la revista promueva artículos sustentados en teorías sólidas y evidencia científica rigurosa, ya que ello no solo fortalece la calidad académica de las publicaciones, sino que también contribuye al desarrollo del pensamiento crítico y al avance del conocimiento en nuestras comunidades.

### **8. Literatura citada**

- DE, D., KHOA, B., & VAN, T. (2023). CUSTOMER'S ONLINE PURCHASE INTENTION: THE ROLE OF PERCEIVED BUSINESS SIZE AND REPUTATION. *JOURNAL OF LOGISTICS INFORMATICS AND SERVICE SCIENCE*. [HTTPS://DOI.ORG/10.33168/JLISS.2023.0220](https://doi.org/10.33168/jliss.2023.0220)
- DROULERS, O., & LACOSTE-BADIE, S. (2025). UNDERSTANDING THE INFLUENCE OF ONLINE GROCERY SHOPPING ON CONSUMERS' CHOICE OF PRODUCTS AND DIETARY BALANCE: A QUALITATIVE STUDY IN FRANCE. *PUBLIC HEALTH NUTRITION*, 1–22. [HTTPS://DOI.ORG/10.1017/S1368980025000266](https://doi.org/10.1017/S1368980025000266)
- HALIMA, M. H., LI, Y., GHANI, U., KIANI, A., & CYNTHIA, A. (2021). IMPACT OF ONLINE CRISIS RESPONSE STRATEGIES ON ONLINE PURCHASE INTENTION: THE ROLES OF ONLINE BRAND ATTITUDE AND BRAND PERCEIVED USEFULNESS. *SAGE OPEN*, 11(1). [HTTPS://DOI.ORG/10.1177/21582440211003872](https://doi.org/10.1177/21582440211003872)
- IKHSANUDIN, I., SUBALI, B., RETNAWATI, H., & ISTIYONO, E. (2024). ESTIMATION OF CRONBACH RELIABILITY BASED ON SAMPLE SIZE, GENDER, AND THE GRADES. *INTERNATIONAL JOURNAL OF EVALUATION AND RESEARCH IN EDUCATION (IJERE)*, 13(2), 759. [HTTPS://DOI.ORG/10.11591/IJERE.V13I2.24895](https://doi.org/10.11591/ijere.v13i2.24895)

- KENNEDY, C. (2022). VALIDITY AND RELIABILITY OF RESEARCH INSTRUMENTS: A GUIDE FOR RESEARCHERS. *BENCHMARK JOURNAL OF CONTEMPORARY EDUCATION*, 2(1), 1–10. [HTTPS://DOI.ORG/10.52589/BJCE-FY266HK9](https://doi.org/10.52589/BJCE-FY266HK9)
- KOIRALA, R. (2025). GUIDELINES FOR SIMPLE LINEAR REGRESSION ANALYSIS IN IBM SPSS: A STEP-BY-STEP APPROACH. *INTERNATIONAL RESEARCH JOURNAL OF MMC*, 6(1), 53–67. [HTTPS://DOI.ORG/10.3126/IRJMMC.V6I1.77479](https://doi.org/10.3126/IRJMMC.V6I1.77479)
- LIN, J., HOLLAND, C., ARGYRIS, N., & HORNBAKE, L. (2023). KEY EVENT ANALYSIS OF CUSTOMER BEHAVIOUR USING CLICKSTREAM DATA IN AIRLINE MARKET. *INTERNATIONAL CONFERENCE ON TOURISM RESEARCH*, 6(1), 140–148. [HTTPS://DOI.ORG/10.34190/ICTR.6.1.1185](https://doi.org/10.34190/ICTR.6.1.1185)
- MAHUALA, A. M. A., ALZYADAT, A. Y., AL-ABABNEH, H. A., ANANZEH, H., KURDI, B. A., IBRAGIMKHALILOVA, [\[1\]](#), & BARHOUSH, F. M. S. (2025). ELECTRONIC MARKETING IN A PANDEMIC WITH RESPECT TO THE IMPACT OF TECHNOLOGY AND BUSINESS ADAPTATION. *INTERNATIONAL REVIEW OF MANAGEMENT AND MARKETING*, 15(3), 333–342. [HTTPS://DOI.ORG/10.32479/IRMM.19194](https://doi.org/10.32479/IRMM.19194)
- MARTÍNEZ, O. L. O., MARTÍNEZ, E. O., & LEÓN, G. R. N. (2017). VALIDEZ PREDICTIVA DEL INSTRUMENTO DE EVALUACIÓN DIAGNÓSTICA DEL INGRESO AL BACHILLERATO. *RECIE REVISTA ELECTRÓNICA CIENTÍFICA DE INVESTIGACIÓN EDUCATIVA*, 3(2), 1105–1115. [HTTPS://DOI.ORG/10.33010/RECIE.V3I2.2051](https://doi.org/10.33010/RECIE.V3I2.2051)
- NAGESH, P., BHARATH, S., NANJUNDESWARASWAMY, T., & TEJUS, S. (2024). PERCEIVED RISK FACTORS ASSESSMENT: DURING PANDEMIC VIA DIGITAL BUYING. *PSU RESEARCH REVIEW*, 8(3), 920–939. [HTTPS://DOI.ORG/10.1108/PRR-07-2022-0097](https://doi.org/10.1108/PRR-07-2022-0097)
- PAL, G., ATKINSON, K., & LI, G. (2021). REAL-TIME USER CLICKSTREAM BEHAVIOR ANALYSIS BASED ON APACHE STORM STREAMING. *ELECTRONIC COMMERCE RESEARCH*, 23(3), 1829–1859. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/S10660-021-09518-4](https://doi.org/10.1007/s10660-021-09518-4)
- RAMANATHAN, U., WILLIAMS, N. L., ZHANG, M., SA-NGUANJIN, P., GARZA-REYES, J. A., & BORGES, L. A. (2020). A NEW PERSPECTIVE OF E-TRUST IN THE ERA OF SOCIAL MEDIA: INSIGHTS FROM CUSTOMER SATISFACTION DATA. *IEEE TRANSACTIONS ON ENGINEERING MANAGEMENT*, 69(4), 1417–1431. [HTTPS://DOI.ORG/10.1109/TEM.2020.2985379](https://doi.org/10.1109/TEM.2020.2985379)
- RIOS-AVILA, F., & MAROTO, M. L. (2022). MOVING BEYOND LINEAR REGRESSION: IMPLEMENTING AND INTERPRETING QUANTILE REGRESSION MODELS WITH FIXED EFFECTS. *SOCIOLOGICAL METHODS & RESEARCH*, 53(2), 639–682. [HTTPS://DOI.ORG/10.1177/00491241211036165](https://doi.org/10.1177/00491241211036165)
- ROBINSON, J. (2023). LIKERT SCALE. IN *SPRINGER EBOOKS* (PP. 3917–3918). [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/978-3-031-17299-1\\_1654](https://doi.org/10.1007/978-3-031-17299-1_1654)
- SHRESTHA, N. (2021). FACTOR ANALYSIS AS A TOOL FOR SURVEY ANALYSIS. *AMERICAN JOURNAL OF APPLIED MATHEMATICS AND STATISTICS*, 9(1), 4–11. [HTTPS://DOI.ORG/10.12691/AJAMS-9-1-2](https://doi.org/10.12691/AJAMS-9-1-2)

- ULITZSCH, E., ULITZSCH, V., HE, Q., & LÜDTKE, O. (2022). A MACHINE LEARNING-BASED PROCEDURE FOR LEVERAGING CLICKSTREAM DATA TO INVESTIGATE EARLY PREDICTABILITY OF FAILURE ON INTERACTIVE TASKS. *BEHAVIOR RESEARCH METHODS*, 55(3), 1392–1412. [HTTPS://DOI.ORG/10.3758/S13428-022-01844-1](https://doi.org/10.3758/s13428-022-01844-1)
- YU, S., LIU, Y., & HYUN, E. (2024). FROM TECHNOLOGY TO TRAFFIC: HOW WEBSITE TECHNOLOGICAL SOPHISTICATED, BRAND RECOGNITION, AND BUSINESS MODEL INNOVATION DRIVE CONSUMER TRAFFIC IN KOREAN E-COMMERCE. *JOURNAL OF THEORETICAL AND APPLIED ELECTRONIC COMMERCE RESEARCH*, 19(3), 2051–2069. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/JTAER19030100](https://doi.org/10.3390/JTAER19030100)
- ZHANG, D., & HUANG, M. (2022). A PRECISION MARKETING STRATEGY OF E-COMMERCE PLATFORM BASED ON CONSUMER BEHAVIOR ANALYSIS IN THE ERA OF BIG DATA. *MATHEMATICAL PROBLEMS IN ENGINEERING*, 2022, 1–8. [HTTPS://DOI.ORG/10.1155/2022/8580561](https://doi.org/10.1155/2022/8580561)
- ZUO, M., ANGELOPOULOS, S., LIANG, Z., & OU, C. X. J. (2022). BLAZING THE TRAIL: CONSIDERING BROWSING PATH DEPENDENCE IN ONLINE SERVICE RESPONSE STRATEGY. *INFORMATION SYSTEMS FRONTIERS*, 25(4), 1605–1619. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/S10796-022-10311-3](https://doi.org/10.1007/s10796-022-10311-3)

## Vivencias de diseñadores UX/UI en formación ante la adaptación digital en startups de e-commerce

Srta. Karla Zharick Otaegui Valenzuela  
Escuela de Educación Superior CERTUS  
Correo electrónico: 74259641@certus.edu.pe

Sr. Yovel Fernando Quispe  
Escuela de Educación Superior CERTUS  
Correo electrónico: 76489092@certus.edu.pe

Srta. Alexandra Cuba Aroni  
Escuela de Educación Superior CERTUS  
Correo electrónico: 60457659@certus.edu.pe

Sr. Christian Edwin Esteban Castillo  
Escuela de Educación Superior CERTUS  
Correo electrónico: 76203609@certus.edu.pe

**Resumen:** Este estudio exploró las vivencias de diseñadores UX/UI en formación que se insertan en startups de comercio electrónico, con el fin de comprender cómo experimentan el proceso de adaptación digital. A través de una metodología cualitativa de enfoque fenomenológico, se realizaron entrevistas semiestructuradas a estudiantes de diseño en prácticas profesionales. Los resultados evidencian que la adaptación digital no solo implica el aprendizaje de herramientas tecnológicas, sino también la gestión emocional, la redefinición del rol profesional y el trabajo colaborativo en entornos remotos. La investigación concluye que es necesario integrar dimensiones emocionales y experienciales en los procesos formativos para favorecer un desarrollo profesional más integral.

**Palabras clave:** Diseño UX/UI/ Startups/ Adaptación digital/ Experiencias formativas/ Emociones en el aprendizaje.

**Abstract:** This study explored the experiences of UX/UI design students involved in e-commerce startups, aiming to understand how they navigate the digital adaptation process. Using a qualitative methodology with a phenomenological approach, semi-structured interviews were conducted with design students during their internships. The findings show that digital adaptation is not only about learning technological tools but also about emotional management, the redefinition of professional identity, and collaborative work in virtual environments. The study concludes that training processes must include emotional and experiential dimensions to foster more holistic professional development.

**Keywords:** UX/UI design/ Startups/ Digital adaptation/ Formative experiences/ Emotions in learning.

**Résumé :** Cette étude explore l'expérience d'étudiants en design UX/UI travaillant dans des startups de commerce électronique afin de comprendre comment ils appréhendent le processus d'adaptation numérique. Une approche qualitative et phénoménologique a été adoptée, avec des entretiens semi-directifs menés auprès d'étudiants en design effectuant des stages professionnels. Les résultats montrent que l'adaptation numérique implique non seulement l'apprentissage d'outils technologiques, mais aussi la gestion des émotions, la redéfinition des rôles professionnels et le travail collaboratif à distance. La recherche conclut que l'intégration des dimensions émotionnelles et expérientielles dans les processus de formation est essentielle pour favoriser un développement professionnel plus holistique.

**Mots-clés:** Conception UX/UI / Startups / Adaptation numérique / Expériences d'apprentissage / Émotions dans l'apprentissage.

## 1. Introducción

La era digital ha modificado profundamente el modo en que se concibe, se aprende y se ejerce el diseño. Particularmente en el ámbito del diseño UX/UI (experiencia de usuario e interfaz de usuario), los estudiantes y jóvenes profesionales en formación se enfrentan no solo a la adquisición de conocimientos técnicos, sino también a la necesidad urgente de adaptarse a entornos digitales altamente cambiantes, colaborativos y exigentes. Esta doble presión, formarse académicamente y responder profesionalmente, genera una experiencia intensa, llena de descubrimientos, contradicciones, tensiones y crecimiento personal.

Hoy, hablar de innovación en diseño no es únicamente referirse a herramientas como Figma o Adobe XD, sino también a procesos de exploración, ensayo y error, relaciones humanas mediadas por pantallas, y una redefinición constante del rol del diseñador en contextos como las startups de comercio electrónico. Estas organizaciones suelen caracterizarse por su dinamismo, cultura ágil, equipos reducidos y exigencia de resultados en tiempos cortos. Para quienes aún están en formación, ingresar a este tipo de entorno representa una oportunidad desafiante que puede resultar tan enriquecedora como desconcertante.

La mayoría de estudios sobre innovación digital y diseño se centran en indicadores de eficiencia, productividad y aprendizaje técnico. Sin embargo, rara vez se detienen a indagar en las experiencias subjetivas de quienes están en pleno proceso de convertirse en profesionales. Como proponen Del Vecchio et al. (2025), la transformación digital debe ser comprendida no solo como cambio de herramientas, sino como un cambio de sentido para las personas que lo atraviesan. En este caso, los diseñadores UX/UI no solo adoptan nuevas plataformas: también se enfrentan a emociones como el miedo a equivocarse, la frustración ante el bloqueo creativo o la motivación al ver sus ideas cobrando vida.

La dimensión emocional del proceso de aprendizaje en diseño digital ha sido, hasta ahora, invisibilizada o subestimada. Koerich et al. (2020) subrayan que el componente emocional tiene un rol fundamental en la percepción que los diseñadores tienen sobre su trabajo, su identidad y sus capacidades. Así también lo advierten Stoehr (2024c) y Del Moral (2024), quienes sostienen que el aprendizaje en contextos tecnológicos no puede desligarse de la experiencia afectiva y simbólica que viven los estudiantes frente a las herramientas, los tiempos de entrega y la cultura digital de las organizaciones.

A través de esta investigación, se busca visibilizar esa experiencia humana que suele quedar fuera de los indicadores de rendimiento o las rúbricas de evaluación. Porque en cada interfaz que se diseña hay una historia detrás: la historia de alguien que dudó, se equivocó, aprendió y volvió a intentar. En cada presentación a un equipo de trabajo, hay una emoción contenida. Y en cada click sobre una plataforma, hay una adaptación silenciosa a las reglas del juego de la era digital.

La elección de un enfoque cualitativo y fenomenológico responde a la necesidad de dar voz a los propios protagonistas del proceso: los diseñadores en formación que transitan este proceso en carne propia. Como plantean López Asto, Vásquez Cerna y Mendoza de los Santos (2023), la innovación genuina no se produce en la tecnología en sí, sino en la forma en que las personas la resignifican desde sus experiencias.

### **Objetivo de la investigación**

Explorar las experiencias vividas por diseñadores UX/UI en formación durante su adaptación a entornos digitales en startups de comercio electrónico, analizando tanto los factores técnicos como emocionales que inciden en su desarrollo profesional, creativo y personal.

### **Pregunta de investigación**

¿Cómo viven los diseñadores UX/UI en formación su proceso de adaptación a herramientas digitales, dinámicas colaborativas y demandas creativas dentro de startups de e-commerce, y qué impacto tienen estas vivencias en su identidad profesional y emocional?

## **2. Metodología**

### **Diseño**

Esta investigación se enmarca dentro del enfoque cualitativo y utiliza el diseño fenomenológico, con el objetivo de comprender a profundidad cómo viven los diseñadores UX/UI en formación su proceso de adaptación digital en startups de comercio electrónico. El interés se centra en la experiencia subjetiva y emocional de los participantes, lo que justifica el uso de este tipo de metodología.

La fenomenología resulta especialmente útil cuando se busca captar la esencia de un fenómeno vivido, y no solo describirlo en términos funcionales. Como lo proponen Moustakas (1994) y retoman autores recientes como Del Vecchio et al. (2025), este enfoque permite “comprender desde dentro” lo que experimenta un sujeto en relación con su contexto, su identidad profesional y las herramientas tecnológicas con las que interactúa.

### **Participantes**

La muestra estuvo conformada por siete diseñadores UX/UI en formación que participaron activamente en proyectos reales dentro de startups del sector e-commerce durante el año 2024. Todos ellos se encontraban cursando estudios técnicos o universitarios relacionados con diseño gráfico, diseño interactivo o tecnologías creativas, y contaban con experiencia práctica mínima de tres meses en proyectos digitales.

El muestreo fue intencional y dirigido, siguiendo los criterios de heterogeneidad en cuanto a género, nivel académico y herramientas utilizadas. Como señalan Koerich et al. (2020), el objetivo no es generalizar, sino ampliar la comprensión del fenómeno desde distintas perspectivas individuales.

### **Instrumentos**

Se utilizó como instrumento principal una guía de entrevista semiestructurada, diseñada con base en el enfoque fenomenológico y validada mediante revisión de expertos. La guía incluyó preguntas abiertas orientadas a explorar tres dimensiones clave: (1) la adaptación a herramientas digitales, (2) la vivencia emocional del trabajo en startups, y (3) la percepción de crecimiento o bloqueo creativo.

Las entrevistas se realizaron de forma individual y virtual, con una duración promedio de 40 minutos. Fueron grabadas con consentimiento informado, luego transcritas de manera literal, y almacenadas bajo estrictas condiciones de anonimato, respetando los principios éticos propuestos por Koerich et al. (2020) y la normativa vigente en investigación social.

### **Procedimiento**

El estudio se desarrolló en tres etapas:

**Selección de participantes:** Se difundió una convocatoria a través de redes profesionales y espacios académicos relacionados con diseño UX/UI, invitando a estudiantes con experiencia en startups a participar en el estudio.

**Aplicación de entrevistas:** Se concertaron sesiones virtuales individuales por Zoom y Google Meet. Durante las entrevistas, se creó un clima de confianza que permitió a los participantes expresarse libremente sobre sus vivencias, emociones y aprendizajes.

Transcripción y validación: Las grabaciones fueron transcritas de forma literal. Posteriormente, se ofreció a los participantes la posibilidad de revisar su testimonio para garantizar fidelidad y permitir correcciones.

### **Análisis de datos**

El análisis se llevó a cabo mediante la técnica de análisis temático fenomenológico, basado en el modelo de Colaizzi (1978), adaptado por diversos autores para estudios contemporáneos (Del Vecchio et al., 2025). Este modelo incluye las siguientes fases:

Lectura profunda de cada transcripción para captar el sentido global de la experiencia.

Extracción de unidades significativas, es decir, frases o fragmentos donde se expresa una vivencia clave.

Agrupación por significados emergentes, buscando patrones comunes en las respuestas.

Construcción de temas y subtemas, organizados en torno a dimensiones emocionales, técnicas y de identidad profesional.

Elaboración de una narrativa interpretativa, que no solo describe, sino que da sentido al conjunto de experiencias.

Para organizar y codificar los datos se utilizó una matriz en Excel, sin recurrir a software automatizado, priorizando el análisis reflexivo. Este tipo de abordaje se justifica por el carácter profundo y subjetivo del fenómeno, que requiere interpretación más que cuantificación.

### **3. Resultados**

Los testimonios recogidos a través de entrevistas semiestructuradas permitieron identificar cinco temas emergentes que describen cómo los diseñadores UX/UI en formación viven su proceso de adaptación digital dentro de startups de e-commerce. Las experiencias abarcan desde aspectos técnicos hasta vivencias emocionales y de redefinición profesional. A continuación, se presentan los principales hallazgos organizados en tablas interpretativas.

**Tabla N° 1:** Temas emergentes en la experiencia de adaptación digital de diseñadores UX/UI

Tema principal	Descripción breve
Aprendizaje autodidacta en herramientas	Dominio progresivo de plataformas como Figma y Adobe XD sin instrucción formal
Emociones frente a la exigencia del entorno	Presión, ansiedad y motivación coexistiendo durante el trabajo en startups
Bloqueos creativos y estrategias de superación	Obstáculos mentales frecuentes y formas personales de desbloqueo creativo
Redefinición del rol profesional	Construcción de una nueva identidad como diseñadores en contextos reales
Interacción y colaboración remota	Dificultades y aprendizajes en el trabajo en equipo mediado por entornos virtuales

**Nota.** La tabla 1 indica los cinco grandes temas que emergieron del análisis temático fenomenológico. Cada uno representa un eje transversal en las narrativas recogidas, evidenciando la complejidad del proceso vivido.

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla N° 2:** Subtemas y citas textuales representativas

Tema principal	Subtema	Cita del participante
Aprendizaje autodidacta	Uso por exploración	"Nunca nadie me enseñó Figma, pero fui probando hasta entenderlo solo." – P4
Emociones frente al entorno	Ansiedad por los plazos	"Sentía que todo iba muy rápido, como si me quedara atrás." – P2
Bloqueos creativos	Miedo a no cumplir expectativas	"Tenía la idea en la cabeza, pero no sabía cómo plasmarla y me frustraba." – P6
Redefinición del rol profesional	Sentimiento de pertenencia	"Por primera vez me sentí realmente diseñadora, no solo estudiante." – P1
Colaboración remota	Falta de conexión emocional	"A veces sentía que diseñaba solo para una máquina, no para personas." – P7

**Nota.** La tabla 2 muestra subtemas y fragmentos textuales que ilustran las experiencias vividas. Estas citas permiten acceder directamente a la voz de los participantes y a su carga emocional. **Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla N° 3:** Herramientas digitales utilizadas y nivel de dominio percibido

Herramienta	N° de participantes que la usaron	Nivel de dominio (autoevaluado)
Figma	7	Medio – Alto
Adobe XD	4	Medio
Sketch	2	Bajo
Miro (colaboración)	3	Medio
Trello/Slack (gestión)	5	Bajo – Medio

**Nota.** La tabla 3 indica las herramientas digitales más usadas por los participantes durante sus prácticas en startups. Se evidencia una fuerte inclinación al autoaprendizaje y al uso intensivo de Figma. **Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla N° 4:** Impacto emocional relacionado con el proceso de diseño en startups

Emoción mencionada	Frecuencia (n° de menciones)	Contexto asociado
Ansiedad	6	Cumplimiento de plazos ajustados
Motivación	5	Validación del trabajo por el equipo
Frustración	4	Bloqueo creativo o fallas técnicas
Orgullo	3	Publicación o uso real de su diseño
Soledad	3	Trabajo remoto sin contacto directo

**Nota.** La tabla 4 sintetiza las emociones más recurrentes durante el proceso de diseño en startups. Aunque la ansiedad es común, también se destacan emociones positivas como motivación y orgullo profesional. **Fuente:** Elaboración propia.

#### 4. Discusión

Los resultados obtenidos en esta investigación revelan que la adaptación digital de los diseñadores UX/UI en formación no puede entenderse únicamente como una transferencia de competencias técnicas, sino como un proceso subjetivo complejo, donde se cruzan aprendizajes, emociones, tensiones identitarias y formas de habitar el entorno digital. Esta visión coincide con lo propuesto por Koerich et al. (2020), quienes sostienen que el rol del diseñador contemporáneo implica enfrentarse a desafíos de aprendizaje continuo, integración interdisciplinaria y gestión de emociones frente a la incertidumbre tecnológica.

Uno de los hallazgos más consistentes fue el carácter autodidacta de gran parte del aprendizaje en herramientas como Figma o Adobe XD. La mayoría de los participantes no recibió formación formal sobre estas plataformas, sino que las aprendió de forma intuitiva, motivados por la necesidad de responder a los ritmos de las startups. Esto confirma lo señalado por Del Vecchio et al. (2025), quienes afirman que la innovación en diseño digital surge, muchas veces, desde la autoexploración y el aprendizaje informal más que desde estructuras institucionales tradicionales. Sin embargo, este modelo también puede generar desigualdades si no se acompaña de procesos pedagógicos que reconozcan y valoren la diversidad de estilos de aprendizaje.

Por otro lado, la investigación evidenció que el trabajo en entornos virtuales colaborativos, aunque facilitador de la gestión ágil de proyectos, puede generar sensación de aislamiento o desconexión emocional. Como expresa uno de los participantes: “a veces sentía que diseñaba solo para una máquina”. Este tipo de testimonios ratifican lo argumentado por Westerman et al. (2011), quienes advierten que una transformación digital efectiva debe estar centrada en las personas y no solo en los procesos. En este sentido, la incorporación de herramientas tecnológicas debe ir acompañada por estrategias de acompañamiento emocional, especialmente en quienes están en formación.

Otro aspecto destacado fue la experiencia emocional frente a la presión por resultados, los bloqueos creativos y el miedo a “no estar a la altura”. Estos sentimientos aparecen también en estudios previos que analizan el impacto del entorno digital en estudiantes de carreras creativas. Como señala Del Moral (2024), las emociones actúan como filtros que pueden potenciar o inhibir el aprendizaje, y su gestión debe ser considerada dentro de los procesos formativos, no como un elemento externo al currículum. En ese mismo sentido, Stoehr (2024c) propone que el diseño emocional no solo debe aplicarse al producto, sino también al proceso educativo del diseñador.

Además, los datos muestran que el contacto con entornos reales —aunque desafiante— permitió a los participantes redefinir su identidad profesional. El paso de “estudiantes” a “diseñadores reales” no ocurrió solo por el dominio de herramientas, sino por la validación de su trabajo dentro de un equipo. Este tipo de resignificación fue también reportada por López Asto, Vásquez Cerna y Mendoza de los Santos (2023), quienes indican que el design thinking permite a los estudiantes encontrar propósito en lo que hacen, y verse a sí mismos como agentes de cambio en contextos reales.

Finalmente, la experiencia en startups ofreció un espacio fértil para el ensayo, el error y la autonomía, características valoradas por quienes desean construir una carrera creativa más alineada con los desafíos contemporáneos. Sin embargo, también se evidenció que esta experiencia puede ser abrumadora si no se acompaña con espacios reflexivos que permitan procesar las vivencias. En este sentido, como proponen Del Vecchio et al. (2025), toda innovación tecnológica debe venir acompañada de una pedagogía de la experiencia, donde se reconozca la emocionalidad, el conflicto y la subjetividad como fuentes legítimas de conocimiento.

En síntesis, esta investigación aporta evidencia de que la adaptación digital en el ámbito del diseño UX/UI no es una mera adquisición de competencias, sino una vivencia atravesada por múltiples dimensiones personales y contextuales. Los hallazgos invitan a repensar cómo se forma, se acompaña y se valida a los diseñadores en formación dentro de entornos digitales reales.

## 5. Conclusiones

La presente investigación permitió comprender en profundidad las vivencias de diseñadores UX/UI en formación que se insertan en startups de comercio electrónico, evidenciando que el proceso de adaptación digital no es únicamente técnico, sino profundamente humano. Las experiencias recogidas muestran que aprender a diseñar en la era digital implica atravesar emociones complejas, construir una identidad profesional en tiempo real, y encontrar sentido en medio de dinámicas colaborativas intensas.

En primer lugar, se concluye que el aprendizaje autodidacta es una constante entre los diseñadores en formación, quienes exploran herramientas por necesidad más que por currícula formal. Si bien esto potencia la autonomía y el pensamiento creativo, también revela una debilidad estructural en los procesos formativos que aún no integran de forma efectiva las exigencias del entorno laboral digital.

En segundo lugar, las emociones, como la ansiedad, el orgullo o la frustración, juegan un rol clave en la experiencia de diseño. Estas no solo influyen en la productividad, sino también en la motivación, la autoimagen y la capacidad de asumir riesgos creativos. Reconocer este componente emocional permite avanzar hacia una formación más integral, que no se limite a evaluar resultados, sino que considere procesos personales y afectivos.

Tercero, se constató que el trabajo en startups, si bien genera oportunidades reales de inserción y validación profesional, también puede ser ambivalente, al tiempo que empodera, puede agotar. El entorno ágil, exigente y a veces desorganizado de estas empresas obliga a los diseñadores a desarrollar habilidades de gestión emocional, colaboración remota y negociación de tiempos que rara vez son abordadas en su formación inicial.

A partir de estos hallazgos, se recomienda lo siguiente:

Integrar enfoques experienciales y emocionales en la formación en diseño, incluyendo asignaturas o módulos que trabajen la gestión de emociones, el pensamiento reflexivo y la autovaloración profesional.

Actualizar los planes de estudio de carreras afines al diseño UX/UI, incorporando herramientas tecnológicas contemporáneas desde los primeros ciclos, y promoviendo el aprendizaje situado mediante prácticas reales o simuladas en entornos digitales.

Fomentar alianzas entre instituciones educativas y startups de e-commerce, que permitan a los estudiantes participar de experiencias formativas en contextos reales, pero con acompañamiento docente, a fin de evitar procesos de desbordamiento o frustración.

Desarrollar espacios de mentoría emocional y profesional, en los que los estudiantes puedan compartir sus vivencias, recibir retroalimentación y construir un sentido compartido de comunidad profesional.

Finalmente, se concluye que comprender la experiencia vivida de los diseñadores en formación es clave para diseñar procesos educativos más empáticos, eficaces y sostenibles. Escuchar sus voces y reconocer sus trayectorias no solo fortalece su aprendizaje, sino que contribuye a formar profesionales más humanos, críticos y creativos para los desafíos del presente digital.

## 6. Agradecimiento

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a la Revista de investigación científica Ciencias e Ingeniería por brindar un entorno inclusivo y accesible que promueve la circulación del conocimiento científico. Espacios como este son fundamentales para democratizar el saber académico, permitiendo que estudios significativos alcancen a una audiencia amplia, más allá de fronteras económicas o geográficas.

Asimismo, reconocemos el impacto positivo de las redes sociales en la difusión de nuestra labor investigativa, al funcionar como herramientas clave para conectar con personas interesadas en las interacciones entre ciencia, tecnología y sociedad.

Reafirmamos la importancia de que la revista continúe fortaleciendo su compromiso con la publicación de trabajos sustentados en fundamentos teóricos rigurosos y evidencia verificable, ya que esto enriquece no solo la calidad del contenido académico, sino también la capacidad crítica y formativa de nuestras comunidades.

## 7. Literatura citada

BRICEÑO SALAS, C., & MOSCOSO PALOMINO, J. (2019). PERCEPCIONES DE LOS ESTUDIANTES SOBRE LA INTEGRACIÓN DE LAS TIC EN SU FORMACIÓN PROFESIONAL. *REVISTA DIGITAL DE INVESTIGACIÓN EN DOCENCIA UNIVERSITARIA*, 13(2), 145–158. [HTTPS://DOI.ORG/10.19083/RIDU.13.779](https://doi.org/10.19083/ridu.13.779)

CALDERÓN, L., & RÍOS, A. (2021). LA EXPERIENCIA DEL APRENDIZAJE EN LÍNEA: DESAFÍOS EMOCIONALES Y ESTRATEGIAS DE AFRONTAMIENTO. *REVISTA DE PSICOLOGÍA EDUCATIVA*, 35(2), 211–229. [HTPS://DOI.ORG/10.1016/J.PSICOE.2021.03.006](https://doi.org/10.1016/j.psicoe.2021.03.006)

DEL MORAL, M. E. (2024). EMOCIONES Y APRENDIZAJE DIGITAL: NUEVAS PERSPECTIVAS EDUCATIVAS. *REVISTA IBEROAMERICANA DE TECNOLOGÍA EDUCATIVA*, 29(1), 44–59. [HTTPS://DOI.ORG/10.3109/TEC.2024.29.1.44](https://doi.org/10.3109/tec.2024.29.1.44)

- DEL VECCHIO, P., DI MININ, A., & PETRUZZELLI, A. M. (2025). DIGITAL DESIGN THINKING: THE ROLE OF EXPERIENTIAL LEARNING AND EMOTIONS IN CREATIVE PROCESSES. *JOURNAL OF INTERACTIVE DESIGN*, 41(2), 102–119. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.INTDES.2025.01.003](https://doi.org/10.1016/j.intdes.2025.01.003)
- HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C., & BAPTISTA, P. (2014). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN (6.ª ED.)*. MCGRAW-HILL.
- KOERICH, R. D., REIS, G. G., & KNOBLAUCH, H. (2020). A FORMAÇÃO DO DESIGNER NA ERA DIGITAL: DE-SAÍOS E POSSIBILIDADES PARA A ATUAÇÃO NO MERCADO. *REVISTA BRASILEIRA DE DESIGN*, 13(2), 61–75. [HTTPS://DOI.ORG/10.1590/RBD.V13N2.2020.0061](https://doi.org/10.1590/rbd.v13n2.2020.0061)
- LÓPEZ ASTO, C., VÁSQUEZ CERNA, J., & MENDOZA DE LOS SANTOS, M. (2023). APLICACIÓN DEL DESIGN THINKING COMO ESTRATEGIA PARA EL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO EN CARRERAS CREATIVAS. *REVISTA DE INNOVACIÓN EDUCATIVA*, 8(3), 25–40. [HTTPS://DOI.ORG/10.32719/IE.2023.8.3.25](https://doi.org/10.32719/ie.2023.8.3.25)
- MOUSTAKAS, C. (1994). *PHENOMENOLOGICAL RESEARCH METHODS*. SAGE PUBLICATIONS.
- STOEHR, A. (2024c). DISEÑO EMOCIONAL EN LA FORMACIÓN UNIVERSITARIA: UNA MIRADA DESDE LA EXPERIENCIA ESTUDIANTIL. *CUADERNOS DE EDUCACIÓN*, 20(1), 71–85. [HTTPS://DOI.ORG/10.56210/CDE2024.20.1.71](https://doi.org/10.56210/cde2024.20.1.71)
- WESTERMAN, G., BONNET, D., & McAFEE, A. (2011). *DIGITAL TRANSFORMATION: A ROADMAP FOR BILLION-DOLLAR ORGANIZATIONS*. MIT CENTER FOR DIGITAL BUSINESS. [HTTPS://HDL.HANDLE.NET/1721.1/119476](https://hdl.handle.net/1721.1/119476)

## Desinfectantes biodegradables, la actividad física o deportiva y la bioquímica

Sr. Alexis Gabriel Reyes Chochoca  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos.  
Correo electrónico: alexis.reyesc@unmsm.edu.pe.

Srta. Gabriella Alejandra Riveros Miranda  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos.  
Correo electrónico: gabriella.riverosm@unmsm.edu.pe

Srta. Cielo Amaris Vega Silva  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Correo electrónico: cielo.vegas@unmsm.edu.pe

**Resumen:** El artículo analiza la relación entre los desinfectantes biodegradables, la bioseguridad en los laboratorios, la química verde, la sostenibilidad universitaria y la actividad física o deportiva. A partir de una revisión temática del contenido desarrollado en el ensayo, se identifican riesgos asociados al uso de productos tradicionales y se destacan alternativas de menor impacto ambiental aplicables a contextos académicos. Además, se argumenta que la incorporación de prácticas sostenibles en la formación científica y en los espacios deportivos universitarios puede fortalecer la responsabilidad social, la protección de la salud y el compromiso institucional con el ambiente.

**Palabras clave:** Desinfectantes biodegradables/ Química verde/ Bioseguridad/ Sostenibilidad universitaria/ Actividad física.

**Resumen:** The article analyzes the relationship among biodegradable disinfectants, laboratory biosafety, green chemistry, university sustainability, and physical or sports activity. Based on a thematic review of the essay content, it identifies risks associated with conventional products and highlights lower-impact alternatives applicable to academic contexts. It also argues that incorporating sustainable practices into scientific training and university sports spaces can strengthen social responsibility, health protection, and institutional environmental commitment.

**Palabras clave:** Biodegradable disinfectants/ Green chemistry/ Biosafety/ University sustainability/ Physical activity.

**Resumen:** Cet article analyse la relation entre les désinfectants biodégradables, la bio-sécurité en laboratoire, la chimie verte, la durabilité universitaire et l'activité physique ou sportive. À partir d'une révision thématique du contenu de l'essai, il identifie les risques associés aux produits conventionnels et met en évidence des alternatives à moindre impact environnemental applicables aux contextes académiques. Il soutient également que l'intégration de pratiques durables dans la formation scientifique et dans les espaces sportifs universitaires peut renforcer la responsabilité sociale, la protection de la santé et l'engagement institutionnel envers l'environnement.

**Mots-clés :** Désinfectants biodégradables / Chimie verte / Biosécurité / Développement durable universitaire / Activité physique.

## 1. Introducción

En el presente trabajo se analiza de manera integrada cómo la sostenibilidad, la bioseguridad y la química verde pueden transformar espacios académicos y deportivos de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, articulando la salud, el ambiente y la formación profesional. A lo largo del trabajo, se examina el papel de los desinfectantes biodegradables como alternativa necesaria frente a los productos tradicionales que generan riesgos tóxicos y una elevada huella ambiental. Esta línea de análisis se complementa con la reflexión sobre la bioseguridad en laboratorios, la gestión responsable de residuos y la importancia de adoptar prácticas coherentes con los principios de la química verde y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Posteriormente, el trabajo profundiza en la relación entre actividad física, materiales deportivos y adaptaciones bioquímicas, destacando el impacto que tienen los polímeros sintéticos y adaptaciones bioquímicas, los microplásticos, los PFAS y los metales pesados sobre el organismo y los ecosistemas. Se propone una transición hacia materiales biodegradables, ya sean biopolímeros y/o fibras naturales, que reduzcan la exposición química y fortalezcan la sostenibilidad en la práctica deportiva universitaria. Abordando uniformemente, el potencial de las tecnologías ómicas como herramientas modernas para individualizar el rendimiento físico desde bases bioquímicas más precisas y éticas. Finalmente, el estudio amplía la mirada hacia la dimensión social y estructural de la sostenibilidad, explorando alternativas como la nutrición orgánica, la arquitectura pasiva, el uso de materiales de bajo carbono y las tecnologías de ahorro hídrico en la infraestructura deportiva. Estos ejes muestran que la química sostenible no solo influye en el laboratorio, sino también en la forma de construir, alimentarse y practicar deporte. En conjunto, la tesis plantea que integrar la sostenibilidad en la universidad no es un ideal abstracto, sino una responsabilidad colectiva que involucra ciencia, salud, ética y compromiso social.

## 2. Material y métodos

Se desarrolló un trabajo de carácter argumentativo con enfoque cualitativo y alcance descriptivo. Se revisó el contenido del ensayo original y se organizaron sus aportes en torno a cinco ejes: desinfectantes biodegradables, bioseguridad, química verde, sostenibilidad universitaria y actividad física. Además, se tomaron en cuenta los comentarios y percepciones recogidos en el documento para identificar tendencias de aceptación, beneficios percibidos y limitaciones vinculadas con la implementación de alternativas sostenibles en el entorno universitario.

### 3. Resultados

La reorganización del contenido permitió identificar coincidencias en torno a la necesidad de sustituir productos químicos convencionales por opciones biodegradables en espacios académicos. También se observó que la sostenibilidad no se limita al laboratorio, sino que se extiende a la infraestructura universitaria, a los materiales deportivos y a la formación ética de los futuros profesionales. Del mismo modo, las opiniones recogidas en el ensayo muestran una valoración predominantemente favorable hacia la adopción de prácticas más sostenibles, aunque persisten preocupaciones relacionadas con la eficacia, los costos y la disponibilidad de estas alternativas.

### 4. Discusión

Frente a un escenario en el que los problemas ambientales están cada vez más en el pan de cada día, las universidades desempeñan un papel fundamental en la educación de los ciudadanos responsables con su entorno. Se analizará de qué manera la responsabilidad social universitaria (RSU) puede transformarse en un recurso eficaz en el que potencia la educación ambiental. "La responsabilidad social universitaria no solo involucra la formación académica, sino también la promoción de conciencia ambiental la que lleve a los estudiantes actuar éticamente frente a los problemas ecológicos actuales" (Moreno, V., et al. 2023) Los protagonistas enfatizan que las instituciones, como la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, deben superar la enseñanza convencional y promover una en la que esté también la consciencia por el ambiente, donde los universitarios y docentes le tomen la importancia al ecosistema, ya no solo para él sino para las futuras generaciones. En otra instancia, eso no quiere decir que este no debe estar delimitado en lo social o educativo, sino que debe vincular la dimensión ambientalista, para los docentes y alumnos.

En el caso de la UNMSM implicaría que los alumnos también tengan la idea de preservación (recogiendo su basura y guardarla en su mochila) sea por campañas o algunas otras, con las que se llegara a la conservación y uso más razonable de los materiales naturales o de creación humana. Este texto nos ofrece un aporte significativo al enfatizar la conexión entre la responsabilidad social y la conservación del medio ambiente. Aunque su enfoque es netamente teórico, su principal fortaleza radica en motivar a las universidades a integrarlas como principal núcleo. Asimismo, establece un fundamento firme para que investigaciones posteriores o venideras exploren ya con fundamento de cómo la RSU puede generar cambios tangibles en lo que respecta a lo ambiental relacionado con lo académico. Se recomienda que la UNMSM consolide la política ambiental universitaria que proponen el plan de RSU, haciendo que la misma participación del alumnado genere una reducción en lo ambiental del campus, y con la mirada que los universitarios o los que estén por ingresar contagien el compromiso a una comunidad de desarrollo sostenible. Bioseguridad en laboratorios y uso de desinfectantes biodegradables en la formación profesional. Se debe tomar muy en consideración este tipo de medidas y más para poder acceder a un laboratorio ya que este será un lugar en el que estaremos gran parte de nuestra vida profesional. Esto quiere decir que nosotros desde nuestros inicios aparte de tener una adecuada higiene personal, también se

debe tener una adecuada en lo que se refiere a los laboratorios. No hay que quedarnos con la idea de que solo lavarse con agua es ya lo óptimo, sino también las medidas que requiere manipular algún compuesto mismo.

El uso fundamental que se tiene por los desinfectantes es una práctica continua que promueve la salud y seguridad de los investigadores. Se tiene que los desinfectantes se pueden desarrollar de distintos compuestos, pero lo que se busca es que esos productos desarrollados sean biodegradables y ya no tanto por compuestos que a la larga son perjudiciales y estos mismos perjudican nuestra salud. Buscamos una alternativa óptima para nosotros sea en nuestra generación o las próximas que están en camino. (Martínez & Ortega, 2020; Tong et al., 2024). La implementación de bioseguridad en los centros de práctica ayudaría a reducir el impacto que puede generar el uso de los instrumentos en el mismo, lo cual a largo plazo fomenta la conciencia ecológica, ya no solo a nivel nacional, sino hasta inclusive nivel internacional. (UNESCO, 2023; Adeeyo, 2023). De la misma manera, el uso de estos sigue un modelo ya antes establecido, como los objetivos de la química verde o de los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) (ONU, 2023; Ramos et al., 2021). De esta manera, el uso de desinfectantes biodegradables no solo garantiza un entorno seguro, sino que también fortalece la formación ética y ambientalmente responsable de los futuros profesionales de las ciencias (PMC 2022; Tong et al., 2024; Adeeyo, 2025). Las múltiples citas resaltan la importancia de mantener las medidas necesarias y adecuadas para la higiene y bioseguridad dentro del laboratorio, no solo como una obligación, sino como parte esencial de la formación profesional. Se enfatiza que el uso de desinfectantes biodegradables representa una alternativa responsable, tanto para la salud de quienes trabajan en el laboratorio como para el medio ambiente. Además, se relaciona esta práctica con los precios de la química verde y los ODS, lo que demuestra la gran preocupación por formar profesionales comprometidos con la sostenibilidad y la ética científica. Es innegable que hablar de bioseguridad en los laboratorios va mucho más allá de una simple norma; representan una responsabilidad que todo futuro profesional debe asumir con compromiso. En este sentido, resulta muy acertada la idea de relacionar la higiene y el uso de los desinfectantes biodegradables con la sustentabilidad ambiental, ya que no solo se protege la salud de quienes trabajan en el laboratorio, sino también el entorno que nos rodea.

Sin embargo, a pesar de su valioso enfoque, el planteamiento podría enriquecerse si se profundiza en algunos aspectos prácticos. Por ejemplo, sería importante mencionar que estrategias o productos específicos podrían aplicarse en los laboratorios universitarios para así garantizar que estas medidas realmente sean sostenibles y efectivas. Además, no debe dejarse de lado que la implementación de las alternativas de lo biodegradable muchas veces enfrenta obstáculos, ya sea por su costo, por falta de capacitación o por la limitada disponibilidad de materiales adecuados. Por otra parte, también sería pertinente reflexionar sobre el papel que cumplen las instituciones educativas en la promoción de esta cultura de bioseguridad ecológica; no basta con reconocer su importancia, sino que se requiere un compromiso activo por parte de las universidades para incorporar políticas claras, capacitaciones y recursos que respalden estas prácticas. Sería conveniente que, además de promover el uso de los desinfectantes biodegradables, se fomente la capacitación constante sobre buenas prácticas de laboratorio

y manejo responsable de los residuos químicos. También podría incluirse la evaluación de nuevos productos ecológicos que se estén desarrollando en el mercado o incluso incentivar proyectos de investigación estudiantiles orientados a crear alternativas más sostenibles. De esta forma, la bioseguridad se convertiría no solo en una norma, sino en una cultura que acompañe toda la vida profesional del químico. En los últimos años, la preocupación por el impacto ambiental generado por las actividades científicas ha impulsado la búsqueda de alternativas más responsables dentro del ámbito académico. La química verde surge precisamente como una respuesta a esta necesidad, promoviendo el uso de métodos, materiales y productos que reduzcan los riesgos de la salud y el medio ambiente. En este contexto los laboratorios universitarios cumplen un papel esencial, ya que representan los espacios donde los futuros profesionales aprenden a aplicar los principios éticos, sostenibles y seguros en su práctica científica. A partir de esta perspectiva, se reflexiona sobre cómo la innovación académica puede contribuir a una ciencia más consciente y ecológicamente comprometida. “La química verde se ha convertido en una de las mejores propuestas que buscan transformar la manera en la que entendemos la ciencia y su relación que tiene con el entorno. En el caso de los laboratorios académicos, su aplicación resulta ser un eje primordial, pues es allí donde los futuros profesionales adquieren no solo conocimientos técnicos, sino también hábitos y valores que influyen en su práctica profesional.

Diversos autores coinciden en que promover medidas de bioseguridad sostenibles (Como el uso de desinfectantes biodegradables), estos no solo protegen la salud del investigador, sino que también reducen el impacto que pueda generar en el medio ambiente y a su vez fomentar la responsabilidad social dentro de la comunidad científica.” (Gómez & Salazar, 2022; Delgado et al., 2024). La propuesta de aplicar los principios de la química verde en los laboratorios académicos busca más que una simple modernización de las prácticas científicas; pretende transformar la forma en la que los estudiantes se relacionan con la ciencia y con el entorno. En este sentido, se resalta que la bioseguridad no debe entenderse sólo como una actitud de respeto hacia la vida y hacia el medio ambiente. Al incorporar productos biodegradables, procedimientos más limpios y métodos que reduzcan los desechos tóxicos se contribuye a formar una cultura científica basada en la sostenibilidad y la responsabilidad. Asimismo, este enfoque educativo promueve un aprendizaje más integral, donde el conocimiento técnico se complementa con la reflexión ética. Tal como han señalado algunos autores, el laboratorio universitario no solo es un espacio de experimentación, sino también un escenario de formación en valores, donde se cultiva la disciplina, la conciencia ambiental y la cooperación. En este contexto, el uso de los desinfectantes biodegradables se convierte en un ejemplo concreto de cómo la ciencia puede avanzar sin comprometer la salud de las personas ni el equilibrio ecológico. Ejemplo: Un caso concreto es el de la Universidad de Antioquia, donde se elaboraron desinfectantes en base a aceites esenciales de eucalipto y limón, logrando así reducir en un 70% el uso de sustancias cloradas sin afectar la eficacia antimicrobiana (Rios et al., 2023). Esta iniciativa demuestra que la sostenibilidad puede incorporarse de esta manera práctica en la enseñanza, generando conciencia y compromiso ambiental entre los estudiantes. La incorporación de la química verde en educación superior representa un avance necesario, pero no exento de desafíos. Si bien su enfoque busca integrar la sostenibilidad y la ética dentro del quehacer cien-

tífico, aún existen estas limitaciones que impiden su plena aplicación. En muchos de los laboratorios universitarios, los recursos son limitados y el cambio hacia materiales biodegradables o procesos más seguros implica una inversión que no todas las instituciones están dispuestas o preparadas para asumir. Por ello, aunque el discurso sobre sostenibilidad resulta ser algo inspirador para todos, su concreción práctica requiere compromiso, planificación y políticas sólidas. Por otra parte, es importante reflexionar sobre la coherencia entre lo que se enseña en el aula y lo que realmente se aplica en los laboratorios. En algunos casos, los estudiantes aprenden los principios de la química verde de forma teórica, pero continúan utilizando reactivos o materiales contaminantes por falta de alternativas viables. Esta contradicción puede generar una brecha entre el ideal y la práctica reduciendo el impacto formativo del mensaje. Superar esta distancia exige que los docentes y las autoridades educativas asuman un rol activo, impulsando cambios estructurales que hagan posible una verdadera transformación.

Asimismo, la sustentabilidad en el laboratorio no debe verse como una moda pasajera, sino como parte de un compromiso a largo plazo. La universidad tiene la responsabilidad de formar profesionales capaces de cuestionar los métodos tradicionales y proponer soluciones innovadoras. Para lograrlo, es esencial combinar la enseñanza científica con la educación ambiental, de manera que el futuro químico no sólo domine fórmulas y procedimientos, sino que también entienda el impacto ético y ecológico de sus acciones. Ejemplo: En la Universidad Nacimiento Autónoma de México (UNAM), un estudio realizado por Hernández y Campos (2022) evidenció que, aunque el 80% de los estudiantes reconoció la importancia de la química verde, solo el 35% aplicaba realmente prácticas sostenibles sea por la falta de infraestructura y orientación técnica. Este dato muestra que, más allá del conocimiento, se requiere una transformación cultural y estructural que acompañe la formación académica. Para avanzar hacia una educación verdaderamente sostenible es fundamental que las universidades asuman la química verde como una política institucional y no solo como una iniciativa aislada. Se recomienda implementar programas de capacitación permanente para los docentes y estudiantes sobre prácticas de laboratorio ecológicas, así como fomentar proyectos de investigación que promuevan el desarrollo de productos biodegradables y energéticamente eficientes. Además, establecer convenios con empresas o centros de innovación podría facilitar el acceso a tecnologías limpias y fortalecer la relación entre la academia y la industria responsable. Otro aspecto importante es la creación de "Laboratorios sostenibles", espacios modelo donde se apliquen de manera integral los principios de la química verde pero no de una manera superficial sino más intensa. Estos laboratorios podrían servir como ejemplo y centros de aprendizaje, mostrando que la sustentabilidad no está reñida con la oficina ni con la calidad científica. En ellos, los estudiantes podrían analizar el ciclo de vida de los reactivos, aprender a gestionar adecuadamente los residuos y proponer mejoras que reduzcan el consumo de los recursos. Finalmente es necesario fomentar una cultura de conciencia ambiental que trascienda las aulas. Esto implica promover con mayor grado de notoriedad los valores como la responsabilidad, el respeto y la cooperación, que son los pilares para una ciencia más humana y comprometida con el bienestar colectivo. De lograrse integrar estos principios en la formación universitaria, la química verde dejaría de ser solo una teoría para convertirse en una práctica continua y cotidiana que motive a las nuevas generaciones de científi-

cos. Las instituciones de educación superior están llamadas a ir más allá de la enseñanza tradicional, ingresando en sus actividades académicas y operativas un enfoque de sostenibilidad. Organismos internacionales como la UNESCO han emitido guías para que los centros universitarios contribuyan sistemáticamente a los ODS, promoviendo entornos de aprendizaje que respeten tanto a las personas como al planeta.

## 5. Agradecimiento

Se agradece a los estudiantes participantes y a la comunidad académica vinculada con la Facultad de Química e Ingeniería Química por aportar insumos de reflexión sobre sostenibilidad, bioseguridad, deporte y formación científica.

## 6. Conclusiones

El análisis desarrollado demostró que la sostenibilidad aplicada a la higiene, la investigación, el deporte y la infraestructura universitaria constituyen un eje esencial para formar profesionales ambientales responsables y capaces de enfrentar retos actuales. El conocimiento de sustitución de sustancias tóxicas por alternativas biodegradables, la incorporación de biopolímeros en prendas deportivas, el abandono progresivo de materiales sintéticos persistentes y el impulso de prácticas de bioseguridad coherentes con la química verde representan avances necesarios para proteger tanto la salud humana como los ecosistemas.

De igual manera, queda claro que la transformación hacia ambientes educativos sostenibles requiere más que buena voluntad; implica políticas universitarias sólidas, capacitación continua, investigación interdisciplinaria y una cultura institucional orientada al cuidado del entorno. Del mismo modo, la dimensión social del deporte, la nutrición orgánica y el uso de tecnologías limpias en infraestructura revelan que la sostenibilidad se construye desde múltiples frentes, todos complementarios. Por ello, fortalecer la articulación entre ciencia, salud ambiente y sociedad, permitirá que la UNMSM avance hacia un modelo académico más ético, saludable e innovador.

## 7. Literatura citada

ALMANSOUR, F. H., ALYAMI, G. H., & ALMANSOUR, A. O. (2024). A COMPREHENSIVE REVIEW OF ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC IMPACT OF SUSTAINABLE POLYMERS ADOPTION IN REDUCING CARBON EMISSIONS AND RESOURCE USE. PREPRINTS. [HTTPS://DOI.ORG/10.20944/PREPRINTS202411.0895.V1](https://doi.org/10.20944/preprints202411.0895.v1)

BISHOP, D. ET AL., (2024). EXERCISE AS MITOCHONDRIAL MEDICINE. ANNUAL REVIEW OF PHYSIOLOGY. [HTTPS://WWW.ANNUALREVIEWS.ORG/CONTENT/JOURNALS/10.1146/ANNUREV-PHYSIOL-022724-104836](https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev-physiol-022724-104836)

CAMAGAY, A & CONNOLLY, M. (2023). QUATERNARY AMMONIUM COMPOUND TOXICITY. IN STATPEARLS. [HTTPS://WWW.NCBI.NLM.NIH.GOV/BOOKS/NBK594254/?UTM](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK594254/?utm)

- CARRATURO, F ET AL., (2025). SUSTAINABLE FORMULATIONS COMPOSED OF BIOSURFACTANTS AND PHYTOCHEMICALS WITH POTENTIAL APPLICATION IN FRESH-CUT FOOD INDUSTRY. [HTTPS://WWW.NATURE.COM/ARTICLES/S41598-025-23367-3?UTM\\_SOURCE](https://www.nature.com/articles/s41598-025-23367-3?utm_source)
- CHEN, ET AL., (2024). CONTEMPORARY ADVANCES IN POLYMER APPLICATIONS FOR SPORTING GOODS: FUNDAMENTALS, PROPERTIES, AND APPLICATIONS. *RSC ADVANCES*. [HTTPS://PUBS.RSC.ORG/EN/CONTENT/ARTICLEHTML/2024/RA/D4RA06544A](https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2024/ra/d4ra06544a)
- COLOMBO, E. (2024). PFASs CAN BE ABSORBED THROUGH THE SKIN AND REACH THE BLOODSTREAM. [HTTPS://WWW.RENEWABLEMATTER.EU/EN/PFAS-CAN-BE-ABSORBED-THROUGH-SKIN-AND-COME-INTO-BLOOD](https://www.renewablematter.eu/en/pfas-can-be-absorbed-through-skin-and-come-into-blood)
- COSTA, M ET AL., (2023). THE IMPACT OF ORGANIC FOOD DURING THE COVID-19 PANDEMIC. [HTTPS://RSDJOURNAL.ORG/INDEX.PHP/RSD/ARTICLE/VIEW/37657](https://rdsjournal.org/index.php/rds/article/view/37657)
- DELEO, P ET AL., (2020). ASSESSMENT OF ECOLOGICAL HAZARDS AND ENVIRONMENTAL FATE OF DISINFECTANT QUATERNARY AMMONIUM COMPOUNDS. [HTTPS://WWW.SCIENCEDIRECT.COM/SCIENCE/ARTICLE/PII/S0147651320309556?UTM\\_SOURCE](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651320309556?utm_source)
- DOBROWOLSKI, H. ET AL., (2024). ORGANIC FOOD IN ATHLETES DIET—NARRATIVE REVIEW OF ALTERNATIVE PRODUCTS IN SPORTS NUTRITION. [HTTPS://WWW.MDPI.COM/2072-6643/16/14/2347](https://www.mdpi.com/2072-6643/16/14/2347)
- ESTRADA, A. (ABRIL 2024). TOXIC LEAD IN FASHION: THE TRUE COST. [HTTPS://WWW.ENVIRONMENTALHEALTH.ORG/2024/04/26/TOXIC-LEAD-IN-FASHION-THE-TRUE-COST/](https://www.environmentalhealth.org/2024/04/26/toxic-lead-in-fashion-the-true-cost/)
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. (2022). MICROPLASTICS FROM TEXTILES: TOWARDS A CIRCULAR ECONOMY FOR TEXTILES IN EUROPE. [HTTPS://WWW.EEA.EUROPA.EU/EN/ANALYSIS/PUBLICATIONS/MICROPLASTICS-FROM-TEXTILES-TOWARDS-A-CIRCULAR-ECONOMY-FOR-TEXTILES-IN-EUROPE](https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/microplastics-from-textiles-towards-a-circular-economy-for-textiles-in-europe)
- HAUTBOIS, C. & DESBORDES, M. (2023). SUSTAINABILITY IN SPORT: SPORT, PART OF THE PROBLEM ... AND OF THE SOLUTION. [HTTPS://WWW.MDPI.COM/2071-1050/15/15/11820](https://www.mdpi.com/2071-1050/15/15/11820)
- KRISHNAN, S ET AL., (2025). AGRICULTURAL BIOWASTE BASED DISINFECTANT FORMULATION MITIGATES DRUG RESISTANT NOSOCOMIAL PATHOGENS. [HTTPS://WWW.SCIENCEDIRECT.COM/SCIENCE/ARTICLE/ABS/PII/S0882401025005285?VIA%3DIHUB](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0882401025005285?via%3DIHUB)
- LI, Q ET AL., (2024). CONTEMPORARY ADVANCES IN POLYMER APPLICATIONS FOR SPORTING GOODS: FUNDAMENTALS, PROPERTIES, AND APPLICATIONS. [HTTPS://PUBS.RSC.ORG/EN/CONTENT/ARTICLELANDING/2024/RA/D4RA06544A](https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2024/ra/d4ra06544a)
- LI, R & ZHAI, C. (2025). CONSTRUCTING SPORTS FACILITIES USING ENVIRONMENT-FRIENDLY MATERIALS. [HTTPS://WWW.FRONTIERSIN.ORG/JOURNALS/MATERIALS/ARTICLES/10.3389/FMATS.2024.1524729/FULL](https://www.frontiersin.org/journals/materials/articles/10.3389/fmats.2024.1524729/full)

- MARZULLO, P ET AL ., (2024). QUATERNARY AMMONIUM SALTS-BASED MATERIALS: A REVIEW ON ENVIRONMENTAL TOXICITY, ANTI-FOULING MECHANISMS AND APPLICATIONS IN MARINE AND WATER TREATMENT INDUSTRIES. [HTTPS://WWW.MDPI.COM/2218-273X/14/8/957?UTM\\_SOURCE](https://www.mdpi.com/2218-273X/14/8/957?utm_source)
- MAYO CLINIC. (FEBRERO 2025). ALIMENTOS ORGÁNICOS: ¿SON MÁS SEGUROS? ¿SON MÁS NUTRITIVOS? [HTTPS://WWW.MAYOCLINIC.ORG/ES/HEALTHY-LIFESTYLE/NUTRITION-AND-HEALTHY-EATING/IN-DEPTH/ORGANIC-FOOD/ART-20043880](https://www.mayoclinic.org/es/healthy-lifestyle/nutrition-and-healthy-eating/in-depth/organic-food/art-20043880)
- NAGOYA UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF MEDICINE. (2025). MECHANISMS OF GENERATION AND ECOLOGICAL IMPACTS OF NANO- AND MICROPLASTICS FROM ARTIFICIAL TURF SYSTEMS IN SPORTS FACILITIES. ENVIRONMENTS, 12(4), 109. [HTTPS://WWW.MDPI.COM/2076-3298/12/4/109](https://www.mdpi.com/2076-3298/12/4/109)
- ONYAMOCHÉ (2023) ARGUMENTA QUE LOS EXTRACTOS DE ORIGEN VEGETAL OFRECEN UNA ALTERNATIVA EFICAZ Y ECOLÓGICAMENTE SEGURA A LOS DESINFECTANTES QUÍMICOS TRADICIONALES, AL COMBINAR ALTA ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA CON UNA DEGRADACIÓN AMBIENTALMENTE RESPONSABLE.
- PERKINS, T. (2024). TOXIC PFAS ABSORBED THROUGH SKIN AT LEVELS HIGHER THAN PREVIOUSLY THOUGHT. [HTTPS://WWW.THEGUARDIAN.COM/ENVIRONMENT/ARTICLE/2024/JUN/30/PFAS-ABSORBED-SKIN-STUDY](https://www.theguardian.com/environment/article/2024/jun/30/pfas-absorbed-skin-study)
- SALOPEK, I ET AL., (2025). EVALUATING THE IMPACT OF ENVIRONMENTAL EXPOSURE ON THE PERFORMANCE OF POLYESTER SPORTSWEAR MATERIALS. [HTTPS://PMC.NCBI.NLM.NIH.GOV/ARTICLES/PMC12196783/](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12196783/)
- SALVECO. (2022). DISINFECTION, HYGIENE AND CLEANING PRODUCTS MADE WITH HEALTHY CHEMISTRY. [HTTPS://SALVECO.FR/EN/HOME/](https://salveco.fr/en/home/)
- SPORTS VENUE TECHNOLOGY. (2023). THE ROLE OF SUSTAINABLE TECHNOLOGIES IN MODERN SPORTS VENUES. [HTTPS://WWW.SPORTSVENUE-TECHNOLOGY.COM/ARTICLES/THE-ROLE-OF-SUSTAINABLE-TECHNOLOGIES-IN-MODERN-SPORTS-VENUES?UTM\\_SOURCE=](https://www.sportsvenue-technology.com/articles/the-role-of-sustainable-technologies-in-modern-sports-venues?utm_source=)
- THE GUARDIAN. (JUNIO 2024). TOXIC PFAS ABSORBED THROUGH SKIN AT LEVELS HIGHER THAN PREVIOUSLY THOUGHT. [HTTPS://WWW.THEGUARDIAN.COM/ENVIRONMENT/ARTICLE/24/JUN/30/PFAS-ABSORBED-SKIN-STUDY](https://www.theguardian.com/environment/article/24/jun/30/pfas-absorbed-skin-study)
- TONG, Y ET AL., (2024). CURRENT PROGRESS, OPPORTUNITIES AND CHALLENGES OF DEVELOPING GREEN DISINFECTANTS FOR THE REMEDIATION OF DISINFECTANT EMERGING CONTAMINANTS. [HTTPS://WWW.SCIENCEDIRECT.COM/SCIENCE/ARTICLE/ABS/PII/S2352554124003504](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352554124003504)
- TONG, Y ET AL., (ABRIL 2023). KNOWLEDGE, ATTITUDES AND PRACTICE REGARDING ENVIRONMENTAL FRIENDLY DISINFECTANTS FOR HOUSEHOLD USE AMONG RESIDENTS OF CHINA IN THE POST-PANDEMIC PERIOD. [HTTPS://WWW.FRONTIERSIN.ORG/JOURNALS/PUBLIC-HEALTH/ARTICLES/10.3389/FPU-BH.2023.1161339/FULL](https://www.frontiersin.org/journals/public-health/articles/10.3389/fpubh.2023.1161339/full)

- VIGAR, V ET AL., (2020). A SYSTEMATIC REVIEW OF ORGANIC VERSUS CONVENTIONAL FOOD CONSUMPTION: IS THERE A MEASURABLE BENEFIT ON HUMAN HEALTH? [HTTPS://WWW.MDPI.COM/2072-6643/12/1/7](https://www.mdpi.com/2072-6643/12/1/7)
- WHITACRE, T. (2023). ECO-CONSCIOUS CLEANERS AND DISINFECTANTS: A CONVERSATION WITH KIRSTEN HOCHBERG, PHD. [HTTPS://WWW.INFECTIONCONTROLTODAY.COM/VIEW/ECO-CONSCIOUS-CLEANERS-DISINFECTANTS-A-CONVERSATION-KIRSTEN-HOCHBERG-PHD?UTM\\_SOURCE](https://www.infectioncontroltoday.com/view/eco-conscious-cleaners-disinfectants-a-conversation-kirsten-hochberg-phd?utm_source)
- YAQOOB, A ET AL., (2024). UTILIZATION OF LOCAL NATURAL COMPOUNDS: A PRACTICAL STEP TOWARD THE HYGIENIC SOCIETY, FORMULATION OF HAND SANITIZER AND DISINFECTANT. [HTTPS://BIOENVUITM.COM/INDEX.PHP/EN/ARTICLE/VIEW/67](https://bioenvuitm.com/index.php/en/article/view/67)
- ZAMBRANO, L & PROAÑO, K. (2025). ESTADO DEL ARTE SOBRE ESTRUCTURAS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CONSTRUCCIONES CIVILES SOSTENIBLES. [HTTPS://JOURNALINGENIAR.ORG/INDEX.PHP/INGENIAR/ARTICLE/VIEW/277](https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/277)

# ÍNDICE DE IMÁGENES



De izquierda a derecha

1. [https://www.vectorizados.com/vector/12952\\_pez-mecanico/#google\\_vignette](https://www.vectorizados.com/vector/12952_pez-mecanico/#google_vignette)
2. [https://www.rawpixel.com/image/2828388/free-illustration-png-shopping-social-media-shop?utm\\_medium=organic&utm\\_source=Pinterest](https://www.rawpixel.com/image/2828388/free-illustration-png-shopping-social-media-shop?utm_medium=organic&utm_source=Pinterest)
3. [https://cgworld.jp/interview/images/201612\\_Aiming/201612\\_Aiming\\_a3.jpg](https://cgworld.jp/interview/images/201612_Aiming/201612_Aiming_a3.jpg)
4. [https://stock.adobe.com/pe/stock-photo/id/1057997516?utm\\_source=Pinterest&utm\\_medium=organic&epik=djoyJnUgZ3lZbmNiTDhxUDl-jaiZRaXEyZE1LamFrMDh4TXVrTlcmcDowJm49VkhadGJkdExMaVM-2cXV5SkZkUopyQSZoPUFBQUFBR255Tks4https://es.pinterest.com/priyankaminnu/](https://stock.adobe.com/pe/stock-photo/id/1057997516?utm_source=Pinterest&utm_medium=organic&epik=djoyJnUgZ3lZbmNiTDhxUDl-jaiZRaXEyZE1LamFrMDh4TXVrTlcmcDowJm49VkhadGJkdExMaVM-2cXV5SkZkUopyQSZoPUFBQUFBR255Tks4https://es.pinterest.com/priyankaminnu/)
5. [https://es.pngtree.com/freepng/cleaning-service-eco-wiper-business-logo-design-template-vector\\_5101197.html?utm\\_source=Pinterest&utm\\_medium=organic](https://es.pngtree.com/freepng/cleaning-service-eco-wiper-business-logo-design-template-vector_5101197.html?utm_source=Pinterest&utm_medium=organic)

# Ciencias e Ingeniería



<https://ctscafe.pe/index.php/cienciaingenieria>  
Volumen II- N° 4 Abril 2026

Contáctenos en nuestro correo electrónico  
**[cienciaseingenierias@ctscafe.pe](mailto:cienciaseingenierias@ctscafe.pe)**

Página Web:  
**<https://ctscafe.pe/index.php/cienciaingenieria>**