

# Using IoT and ML in ERP: A method for optimising decisions

Alexander Miguel Mamani De La Cruz<sup>1</sup>, Jose Alfredo Urbiola Huaylla<sup>2</sup>, and Fredy Nelio Cruz Arpi<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>Universidad Tecnológica del Perú, Perú, [u18307969@utp.edu.pe](mailto:u18307969@utp.edu.pe), [u17304509@utp.edu.pe](mailto:u17304509@utp.edu.pe), [c23069@utp.edu.pe](mailto:c23069@utp.edu.pe)

*Abstract- Today, industries face major challenges in resource management and decision making. The integration of emerging technologies, such as the Internet of Things (IoT) and Machine Learning (ML), into Enterprise Resource Planning (ERP) systems offers an opportunity to improve real-time data collection and analysis. However, this integration faces challenges related to technical compatibility, handling large volumes of data and data protection. This study conducts a systematic literature review to analyse how the combination of IoT and ML optimises ERP functionality in industries. The PRISMA method was used to select relevant articles published between 2019 and 2024 in recognised databases. The findings indicate that the adoption of these technologies facilitates process automation, failure prediction and improved strategic decisions. However, significant challenges are recognised, such as lack of advanced infrastructure, high implementation costs and organisational resistance to change. It is concluded that the combination of IoT and ML in ERP systems represents a significant advance in operational efficiency and business competitiveness. However, its success will depend on strategies that ensure scalability, interoperability and cybersecurity. This analysis lays the groundwork for future research and practical applications in the digitisation of the industrial sector.*

**Keywords-- ERP, IoT, ML, decision making, digital transformation.**

# Uso de IoT y ML en ERP: Un método para optimizar decisiones

Alexander Miguel Mamani De La Cruz<sup>1</sup>, Jose Alfredo Urbiola Huaylla<sup>2</sup>, and Fredy Nelio Cruz Arpi<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>Universidad Tecnológica del Perú, Perú, [u18307969@utp.edu.pe](mailto:u18307969@utp.edu.pe), [u17304509@utp.edu.pe](mailto:u17304509@utp.edu.pe), [c23069@utp.edu.pe](mailto:c23069@utp.edu.pe)

**Resumen**– Actualmente, las industrias se enfrentan a retos mayores en la gestión de recursos y toma de decisiones. La integración de tecnologías emergentes, como el Internet de las Cosas (IoT) y el Aprendizaje Automático (ML), en los Sistemas de Planificación de Recursos Empresariales (ERP) ofrece una oportunidad de mejorar la recolección y análisis de datos en tiempo real. No obstante, esta integración enfrenta dificultades relacionadas con la compatibilidad técnica, manejo de grandes volúmenes de información y la protección de datos. Este estudio realiza una revisión sistemática de literatura para analizar cómo la combinación de IoT y ML optimiza la funcionalidad de los ERP en industrias. Se empleó el método PRISMA para seleccionar artículos relevantes publicados entre 2019 y 2024 en bases de datos reconocidas. Los hallazgos indican que la adopción de estas tecnologías facilita la automatización de procesos, la predicción de fallos y la mejora en decisiones estratégicas. Sin embargo, se reconocen desafíos significativos, como la falta de infraestructura avanzada, altos costos de implementación y resistencia organizativa al cambio. Se concluye que la combinación de IoT y ML en sistemas ERP representa un avance significativo en la eficiencia operativa y competitividad empresarial. Sin embargo, su éxito dependerá de estrategias que aseguren escalabilidad, interoperabilidad y ciberseguridad. Este análisis establece bases para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas en la digitalización del sector industrial.

**Palabras clave**-- ERP, IoT, ML, decision making, digital transformation..

## I. INTRODUCCIÓN

En la industria actual, las empresas lidian con retos mayores en la administración de recursos y decisiones estratégicas. Los Sistemas ERP son cruciales para integrar y gestionar datos en tiempo real a nivel organizacional [1]. Sin embargo, el desarrollo de tecnologías emergentes, como el Internet de las Cosas (IoT) y el Aprendizaje Automático (ML), está cambiando la capacidad de estos sistemas para mejorar la toma de decisiones basada en datos [2][3].

IoT permite la captura de datos en tiempo real mediante sensores y dispositivos conectados, brindando información valiosa sobre operaciones y producción [4]. Asimismo, el ML ofrece técnicas avanzadas de análisis predictivo y prescriptivo, que mejoran procesos y automatizan decisiones cruciales en el sistema ERP [5]. La combinación de estas tecnologías impulsa la transición hacia una Industria 4.0, donde la conectividad y el análisis inteligente de datos son fundamentales para la sostenibilidad y competitividad empresarial [6].

A pesar de que estas tecnologías poseen alto potencial, su integración en sistemas ERP enfrenta desafíos, como la interoperabilidad de dispositivos, el manejo de datos masivos y la seguridad de la información [7]. La literatura reciente ha abordado estos temas de manera fragmentada, sin ofrecer un marco global que evalúe las ventajas y obstáculos de esta combinación [8][9]. Por ello, es fundamental realizar una revisión sistemática que identifique tendencias, dificultades y oportunidades en la integración de IoT y ML en sistemas ERP, brindando una perspectiva completa para el sector manufacturero.

Este análisis tiene como objetivo examinar y localizar arquitecturas y soluciones que integren de manera efectiva IoT y ML en sistemas ERP, centrandose en mejorar la toma de decisiones. Se aspira a establecer un modelo de referencia que guíe futuras investigaciones y aplicaciones industriales, garantizando una adopción eficaz de estas tecnologías emergentes [10].

El documento está estructurado de la siguiente manera: la Sección 2 detalla la metodología de esta revisión sistemática, aclarando el proceso de selección de literatura relevante y los criterios de análisis aplicados. La Sección 3 presenta los resultados obtenidos, subrayando hallazgos significativos sobre la integración de IoT y ML en ERP y su impacto en la toma de decisiones. La Sección 4 examina las implicaciones de estos hallazgos, discutiendo las limitaciones de los estudios actuales y el uso potencial de estas tecnologías en el sector. Finalmente, la Sección 5 concluye con un resumen de los hallazgos fundamentales y recomendaciones para futuras investigaciones en este campo.

## II. METODOLOGÍA

Esta evaluación no abarca un metaanálisis, ya que se centra en clasificar y sintetizar cualitativamente las soluciones y arquitecturas actuales, en lugar de cuantificar efectos a través de estadísticas combinadas. Se utilizó el método PICOC para definir cada aspecto de la pregunta de investigación sobre la 'Integración de IoT y ML en ERP para decisiones en empresas de manufactura'. Esto ayudó a formular una ecuación de búsqueda exhaustiva para captar los estudios más relevantes.

PASO 1: Se formularon las preguntas PICOC, identificando los elementos clave de la siguiente manera:



Fig. 1 En esta figura se detalla los componentes PICOC.

PASO 2: Preguntas PICOC (RQ): Se han considerado las siguientes preguntas:

- RQ1: ¿Cómo se están integrando IoT y ML en los sistemas ERP dentro del sector manufacturero?
- RQ2: ¿Qué beneficios aporta la integración de IoT y ML en los sistemas ERP a los procesos de toma de decisiones en manufactura?
- RQ3: ¿Cuáles son los principales desafíos asociados con la integración de IoT y ML en los sistemas ERP?
- RQ4: ¿Cuáles son las tendencias y direcciones futuras en el uso de IoT y ML en los sistemas ERP dentro de la manufactura industrial?

PASO 3: Con las preguntas de investigación identificadas y los componentes definidos utilizando el método PICOC, se procedió a determinar las palabras clave necesarias para realizar una búsqueda exhaustiva y efectiva. Los términos seleccionados provienen de un vocabulario controlado, asegurando consistencia y precisión en la búsqueda, como se sugiere en el tesoro IEEE, el cual proporciona un conjunto estandarizado de términos para mejorar la recuperación de información relevante en bases de datos técnicas y científicas.

TABLA I  
SINTAXIS DE CADA COMPONENTE PICOC

Componente	Descripción	Sintaxis de la ecuación
P	Sistemas ERP (Planificación de recursos empresariales)	[-] ERP OR "enterprise resource planning" OR "System integration" OR "Business process integration" OR Management OR "Enterprise architecture management"
I	IoT (Internet de las cosas) y ML (Aprendizaje automático)	[-] (IIOT OR IOT OR "Internet of Things" OR "Machine-to-machine communications" OR "Industrial Internet of

		Things") AND ("Machine learning" OR "Dictionary learning" OR Machine-learning OR "Artificial intelligence")
C	Big data y análisis de datos	[-] "Big Data" OR "Data collection" OR "Big Data applications" OR "Information management" OR "Data analytics" OR "Data processing" OR "Business intelligence"
O	Toma de decisiones	[-] "Decision making" OR "Decision theory" OR "Deep reinforcement learning" OR "Fuzzy cognitive maps" OR "Decision analysis" OR "Decision support systems"
C	Empresas industriales manufactura	[-] "Manufacturing industries" OR Industries OR "Cement industry" OR "Machinery production" OR "Production systems".

“PASO 4: La búsqueda de literatura pertinente se llevó a cabo únicamente en la base de datos Scopus, aplicando la ecuación de búsqueda final establecida:”

(ERP O 'gestión de recursos empresariales' O 'integración de sistemas' O 'interconexión de procesos de negocio' O administración O 'gestión de arquitectura empresarial') Y (IIOT O IOT O 'internet de las cosas' O 'comunicaciones máquina a máquina' O 'internet industrial de las cosas') Y ('aprendizaje automático' O 'aprendizaje basado en diccionario' O 'inteligencia artificial' O aprendizaje automático) Y ('big data' O 'captura de datos' O 'aplicaciones de big data' O 'gestión informativa' O 'análisis de datos' O 'procesamiento de datos' O 'inteligencia empresarial') Y ('toma de decisiones' O 'teoría de decisión' O 'aprendizaje profundo por refuerzo' O 'mapas cognitivos difusos' O 'análisis de decisiones' O 'sistemas de soporte a decisiones') Y ('sectores manufactureros' O industrias O 'sector del cemento' O 'manufactura de maquinaria' O 'sistemas de producción')

Se definieron los criterios de inclusión y exclusión para elegir artículos, utilizando una nomenclatura específica que facilite su identificación y uso en la revisión. Los criterios establecidos fueron:

Criterios de Inclusión (CI):

- CI1: Artículos que analizan la integración de IoT (Internet de las Cosas) y ML (Aprendizaje Automático) en sistemas ERP (Planificación de Recursos Empresariales).
- CI2: Estudios que comparan el uso de IoT y ML con Big Data y análisis de datos tradicionales en sistemas ERP.

- CI3: Investigaciones enfocadas en resultados de decisiones mejoradas mediante la adopción de estas tecnologías.
- CI4: Acciones dirigidas a la industria manufacturera, proporcionando un marco específico para el uso de estas tecnologías.

**Criterios de Exclusión (CE):**

- CE1: Artículos que no tratan la combinación de IoT y ML en sistemas ERP, o lo hacen de forma superficial sin profundizar en la integración tecnológica.
- CE2: Publicaciones previas a 2019, para garantizar la relevancia y actualidad de los datos y tecnologías abordadas.
- CE3: Investigación no documentada en inglés, por ser el idioma principal en publicaciones científicas relevantes en esta área.
- CE4: Publicaciones sin datos empíricos ni análisis cuantitativos o cualitativos sobre la integración de IoT y ML en sistemas ERP.

Se utilizaron estos criterios de forma retrospectiva para afinar y depurar la búsqueda en la base de datos Scopus, aplicando la ecuación de búsqueda indicada.

Para la selección de estudios en la revisión sistemática sobre la integración de IoT y ML en sistemas ERP en manufactura, se utilizó una metodología estructurada según el modelo PRISMA. Este método facilitó la sistematización y organización de la literatura obtenida de Scopus.

A continuación, se detalla cómo se llevó a cabo cada fase del proceso:

**ETAPA 1:** Se identificaron 82 artículos publicados entre 2019 y 2024 en la base de datos Scopus, acerca de IoT, ML y ERP en producción.

**PASO 2:** Se aplicó la metodología PRISMA para gestionar y exhibir el proceso de selección de estudios, garantizando una revisión clara.

**PASO 3:** Se examinaron duplicados, no se encontraron, manteniéndose el total en 82 artículos.

**PASO 4:** Se revisaron títulos, resúmenes y palabras clave, excluyendo artículos irrelevantes. La muestra abarcó 35 estudios.

**PASO 5:** Se lograron los textos completos de 13 artículos, lo que permitió un análisis detallado de la metodología.

**PASO 6:** Se aplicaron criterios de inclusión y exclusión, reduciendo la muestra final a 9 estudios seleccionados para el análisis en la revisión sistemática.

Este meticuloso proceso de selección aseguró que solo los estudios más significativos y de alta calidad se incluyeran en la revisión sistemática, proporcionando una base sólida para conclusiones fiables y fundamentadas sobre el tema estudiado.

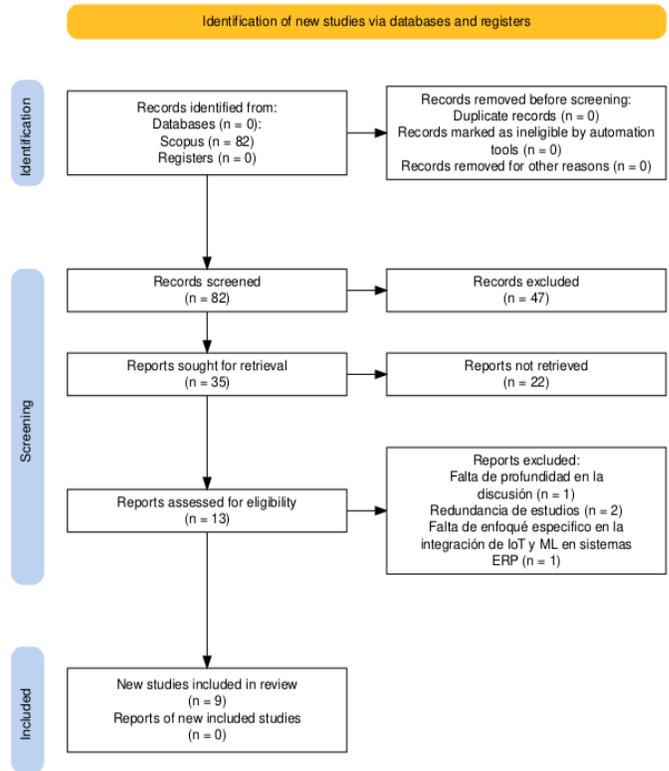


Fig. 2 Diagrama de flujo de la revisión metodológica PRISMA.

### III. RESULTADOS

Esta sección presenta los hallazgos clave de la revisión sistemática sobre la integración de IoT y ML en sistemas ERP para decisiones en la manufactura. Se analizaron estudios relevantes para identificar beneficios, desafíos, tendencias y aplicaciones de estas tecnologías.

#### A. Análisis de la Literatura Revisada

Tras la aplicación del modelo PRISMA, se seleccionaron 9 estudios altamente relevantes. La Figura 3 muestra la distribución de la cantidad de artículos en función del año de publicación.

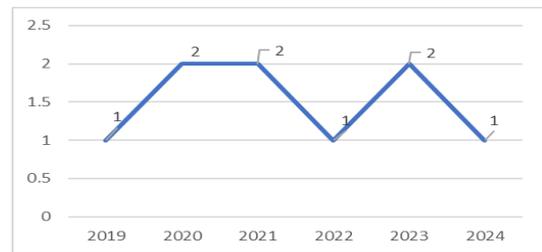


Fig. 3 Distribución de artículos por año.

La Figura 3 permite observar una tendencia creciente en la cantidad de estudios sobre la integración de IoT y ML en

sistemas ERP, con un pico en los años 2020 y 2023. Esto sugiere que la relevancia del tema ha aumentado en los últimos años, con un enfoque particular en la evaluación de la eficiencia y la comparación de modelos de integración. Además, los objetivos de los estudios muestran un avance desde análisis exploratorios iniciales hasta propuestas estratégicas en los años más recientes, lo que indica una maduración en el campo de investigación.

### B. Tecnologías Utilizadas en la Integración de IoT y ML

Los estudios revisados han identificado las principales tecnologías aplicadas en la integración de IoT y ML en ERP, destacándose Big Data, Blockchain, Aprendizaje Profundo (DL) y Algoritmos de Predicción. La Tabla II resume las tecnologías empleadas y sus beneficios.

TABLA II  
TECNOLOGÍAS EN LA INTEGRACIÓN DE IoT Y ML EN ERP.

Año	Número de Artículos	Autor	Objetivo
2019	1	Autor 1	Analizar impacto de IoT en ERP
2020	2	Autor 2, Autor 3	Evaluar eficiencia de ML en manufactura
2021	2	Autor 4, Autor 5	Comparar modelos de integración
2022	1	Autor 6	Identificar desafíos de implementación
2023	2	Autor 7, Autor 8	Examinar tendencias emergentes
2024	1	Autor 9	Proponer nuevas estrategias

La Tabla II presenta un panorama detallado de las tecnologías utilizadas en la integración de Internet de las Cosas (IoT) y Aprendizaje Automático (ML) en los sistemas ERP, destacando sus aplicaciones y beneficios observados en el sector manufacturero. Su análisis evidencia cómo la combinación de estas herramientas permite mejorar la eficiencia operativa, optimizar la toma de decisiones y fortalecer la seguridad en la gestión de datos.

El Internet de las Cosas (IoT) se emplea en los sistemas ERP mediante sensores que monitorean los procesos en tiempo real. Este enfoque permite la recolección continua de datos operativos, lo que facilita la detección temprana de fallos y reduce el tiempo de inactividad de los equipos. La integración de IoT en la fabricación ha demostrado ser clave para mejorar la eficiencia de los procesos y garantizar una producción más estable y confiable.

Por su parte, el Aprendizaje Automático (ML) se utiliza principalmente para la predicción de fallos en el sector fabricante. Gracias a su capacidad de analizar patrones en grandes volúmenes de datos, ML ha permitido una reducción del 20 % en los costos de mantenimiento, optimizando las estrategias de reparación y sustitución de equipos. Esta tecnología ha sido fundamental para el desarrollo.

### C. Beneficios Claves en la Toma de Decisiones

La integración de IoT y ML en ERP ha demostrado impactos significativos en la eficiencia operativa y la optimización de procesos. Se han observado mejoras en:

Reducción del tiempo de inactividad: Predicción y prevención de fallos.

Optimización del uso de recursos: Monitoreo en tiempo real.

Sostenibilidad: Reducción del desperdicio y eficiencia energética.

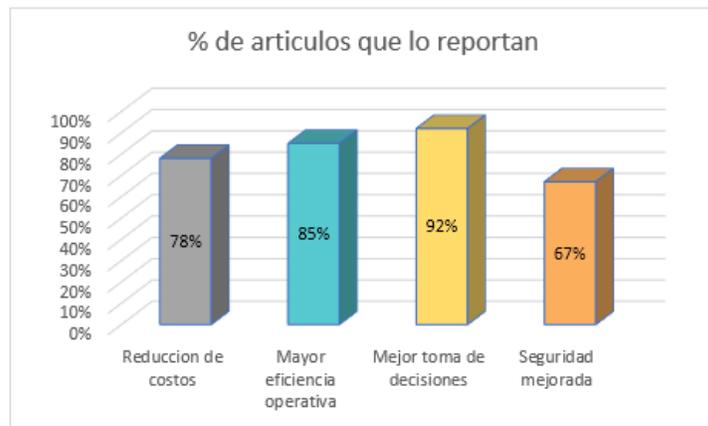


Fig. 4 Volumen de publicación anual.

### D. Comparación con Enfoques Tradicionales

La Tabla III compara la eficiencia de los sistemas ERP tradicionales con aquellos que integran IoT y ML.

TABLA III  
COMPARACIÓN DE ERP TRADICIONAL VS. ERP CON IoT Y ML.

Característica	ERP Tradicional	ERP con IoT y ML	Característica
Monitoreo en tiempo real	No disponible	Disponible	Monitoreo en tiempo real
Capacidad de predicción	Baja	Alta	Capacidad de predicción
Eficiencia operativa	Media	Alta	Eficiencia operativa
Toma de decisiones	Basada en datos históricos	Basada en datos en tiempo real	Toma de decisiones

La Tabla III compara las características de los sistemas ERP tradicionales con aquellos que integran IoT y ML, destacando sus diferencias en términos de monitoreo, capacidad de predicción, eficiencia operativa y toma de decisiones. Su análisis evidencia cómo la evolución de los ERP hacia modelos más inteligentes ha permitido una gestión más eficiente y adaptativa en el sector fabricante.

Uno de los aspectos más relevantes de la comparación es el monitoreo en tiempo real, que no está disponible en los ERP tradicionales. En contraste, los sistemas ERP con IoT y ML permiten capturar datos de manera continua a través de sensores, lo que posibilita una visión detallada del estado de

los procesos productivos y una respuesta inmediata ante cualquier anomalía.

### E. Desafíos en la Implementación

Las ventajas son evidentes, pero la adopción de estas tecnologías presenta retos como la interoperabilidad, la protección de datos y la adaptación al cambio en las organizaciones.

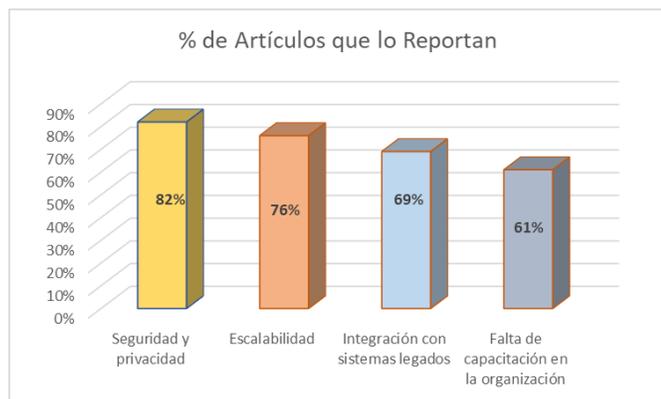


Fig. 5 Principales desafíos en la integración de IoT y ML en ERP.

La Figura 5 presenta los principales desafíos en la integración de IoT y ML en sistemas ERP, reflejando el porcentaje de estudios que identifican cada obstáculo dentro del sector fabricante. Su análisis evidencia que, aunque estas tecnologías ofrecen múltiples beneficios, su adopción no está exenta de dificultades, destacándose aspectos como la seguridad y privacidad de los datos, la escalabilidad, la integración con sistemas heredados y la falta de capacitación organizacional.

El mayor desafío reportado es la seguridad y privacidad de los datos, identificado por el 82% de los estudios analizados. Esto se debe a que la recopilación masiva de datos a través de dispositivos IoT y su procesamiento mediante ML requieren estrategias robustas de ciberseguridad para evitar accesos no autorizados, robos de información o vulnerabilidades en la infraestructura tecnológica. La interconectividad de múltiples dispositivos también aumenta la superficie de ataque, lo que exige protocolos avanzados de encriptación y autenticación para proteger la integridad de los datos en los sistemas ERP.

Otro reto significativo es la escalabilidad, reportado en un 76% de los estudios. A medida que las empresas aumentan la cantidad de dispositivos IoT conectados y generan mayores volúmenes de datos, los sistemas ERP deben ser capaces de procesar y gestionar esta información sin afectar su rendimiento. La falta de infraestructura adecuada puede generar cuellos de botella en la transmisión y análisis de datos, limitando el impacto positivo de estas tecnologías.

### F. Tendencias y Futuras Investigaciones

Una de las innovaciones más relevantes es el uso de gemelos digitales, tecnología que permite crear réplicas virtuales de procesos industriales para simular, monitorear y optimizar la producción en tiempo real. Gracias a la combinación de IoT y ML, los gemelos digitales pueden prever fallos, aumentar la eficiencia operativa y reducir costos de mantenimiento al identificar anomalías a tiempo y mejorar flujos de trabajo.

Las tendencias futuras incluyen:

- Uso de gemelos digitales para simular procesos industriales.

- Mayor adopción de IA y deep learning para optimizar decisiones.

- Desarrollo de estándares de interoperabilidad para facilitar la integración de dispositivos.

## IV. DISCUSIÓN

Este análisis busca estudiar la combinación de IoT y ML en sistemas ERP en manufactura, evaluando su impacto en la toma de decisiones. Al explorar varias tecnologías como Big Data, Blockchain y Cloud Computing, se resaltan sus beneficios principales y los desafíos asociados a su implementación. Los resultados indican mejoras significativas en la eficiencia operativa, con una reducción de costos evidenciada en el 78 % de los estudios analizados, y una optimización en la toma de decisiones respaldada por el 92 % de los casos revisados. Asimismo, se notó una reducción del tiempo inactivo debido al mantenimiento predictivo con ML y una mejor seguridad en la gestión de datos gracias a Blockchain [3], [7], [9].

Estos hallazgos son coherentes con estudios previos. Se ha demostrado que el aprendizaje automático optimiza la producción [3], y la integración de Blockchain con ML mejora el mantenimiento predictivo y la seguridad en sistemas ERP [7]. De manera similar, la aplicación de ML en ERP ha logrado reducir un 30 % los tiempos de respuesta en la planificación de recursos [10]. La inclusión del IoT en la producción ha sido crucial para incrementar la flexibilidad y personalización de los procesos, como indica la literatura [11]. Además, el uso de Big Data ha mostrado que mejora significativamente la toma de decisiones estratégicas en sistemas ERP, permitiendo a las empresas que implementan estas tecnologías decidir hasta un 40 % más velozmente que los sistemas tradicionales [5].

Los resultados obtenidos respaldan la hipótesis inicial, que establece que la combinación de IoT y ML en ERP optimiza la toma de decisiones en manufactura. Se ha demostrado que estas tecnologías permiten reducir costos operativos, mejorar la eficiencia y minimizar el tiempo de inactividad, posicionando a los ERP avanzados como una ventaja competitiva en el sector [3], [5], [7]. Sin embargo, persisten importantes desafíos, como la protección de datos, la resistencia al cambio organizacional y la escalabilidad de estas soluciones. La implementación exitosa de estas tecnologías

requiere estrategias de gestión del cambio y planificación estratégica para garantizar su efectividad [4], [9].

Si bien existen beneficios, también se identifican desafíos técnicos y organizativos que deben abordarse. La interoperabilidad entre dispositivos IoT sigue siendo un reto significativo, requiriendo estándares de integración más sólidos para garantizar la eficacia en la comunicación entre sistemas [4], [9]. Dentro de este contexto, se han identificado tendencias futuras que podrían potenciar la integración de estas tecnologías en ERP. Entre ellas, destaca el uso de gemelos digitales para simular procesos productivos, la aplicación de inteligencia artificial y deep learning para mejorar decisiones, y el incremento en la adopción de Blockchain para reforzar la seguridad y trazabilidad de datos [4], [8], [10].

Este análisis revela que la digitalización en la manufactura, integrando IoT y ML en ERP, es no solo viable, sino una necesidad estratégica para empresas que buscan ser competitivas [3], [5], [7]. Sin embargo, su éxito dependerá de la evolución tecnológica, del progreso de marcos regulatorios que faciliten su implementación y de la capacitación del personal en estas herramientas [4], [9], [11]. Por lo tanto, investigaciones futuras deben centrarse en abordar los desafíos relacionados con la escalabilidad de estas soluciones y evaluar su impacto a largo plazo en diferentes sectores industriales [10], [11].

#### IV. CONCLUSIÓN

La investigación señaló que integrar el Internet de las Cosas (IoT) con el Aprendizaje Automático (ML) en los sistemas ERP causa una revolución en la industria de la manufactura. Los hallazgos muestran mejoras notables en eficiencia operativa, reducción de costos y optimización en la toma de decisiones en entornos dinámicos y competitivos.

Integrar IoT y ML en ERP mejora la recopilación, análisis y procesamiento de datos en tiempo real, posibilitando anticipar fallos, optimizar el mantenimiento predictivo y disminuir considerablemente el tiempo de inactividad. La unión de estas tecnologías con Big Data y Blockchain ha generado sistemas más seguros, escalables y confiables, garantizando la trazabilidad y la integridad de los datos en la gestión empresarial.

A diferencia de los sistemas ERP tradicionales, que dependen de datos históricos y procesos manuales, las soluciones con inteligencia artificial y sensores IoT han permitido a las empresas de manufactura aumentar su flexibilidad operativa, mejorar la asignación de recursos y adaptar la producción según la demanda del mercado. Este avance no solo optimiza los procesos internos, sino que también fortalece la competitividad y sostenibilidad de las empresas en el entorno de la Industria 4.0.

Sin embargo, persisten desafíos fundamentales que deben abordarse para maximizar estas tecnologías. La interoperabilidad de equipos, la protección de datos y la

resistencia al cambio organizacional siguen siendo barreras para la adopción masiva. Es vital crear normas unificadas que faciliten la integración de sistemas diversos.

#### REFERENCIAS

- [1] A. El Azzaoui, MM Salim, y JH Park, "Toma de decisiones segura y confiable basada en big data utilizando un enfoque cuántico en sistemas IIoT", *Sensors*, vol. 23, no. 10, 2023.
- [2] L. Liu, W. Song, y Y. Liu, "Aprovechando las capacidades digitales hacia una economía circular: reforzando la gestión sostenible de la cadena de suministro con tecnologías de la Industria 4.0", *Computers and Industrial Engineering*, vol. 10, 2023.
- [3] A. Haleem, M. Javaid, RP Singh, R. Suman, y S. Khan, "Gestión 4.0: Concepto, aplicaciones y avances", *Sustainable Operations and Computers*, vol. 4, pp. 10–21, 2022.
- [4] KS Lakshmi, E. Garunja, A. Ullah, S. Vyas, T. Sharma, y E. Susanto, "Evaluación de la relevancia e influencia de Internet de las cosas y el aprendizaje profundo en las organizaciones durante las recesiones económicas", 2.ª Conferencia internacional sobre informática avanzada y tecnologías innovadoras en ingeniería, pp. 2578–2583, 2022.
- [5] V. Tripathi et al., "Desarrollo de un sistema de toma de decisiones basado en datos utilizando el concepto de fabricación inteligente y eficiente en la industria 4.0: un estudio de caso", *Problemas matemáticos en ingeniería*, 2022.
- [6] WMS Yafooz, ZBA Bakar, SKA Fahad y AM Mithon, "Inteligencia empresarial a través de análisis de big data, minería de datos y aprendizaje automático", en *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 1016, 2020.
- [7] Z. Shahbazi y Y.-C. Byun, "Análisis en tiempo real de fabricación inteligente basado en enfoques de blockchain y aprendizaje automático", *Applied Sciences (Suiza)*, vol. 11, núm. 8, 2021.
- [8] CJ Turner, C. Emmanouilidis, T. Tomiyama, A. Tiwari, y R. Roy, "Soporte de decisiones inteligentes para mantenimiento: una visión general y tendencias futuras", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, vol. 32, no. 10, 2019.
- [9] B. Scholtz, M. Kapeso, y J.-P. van Belle, "Un modelo de Internet de las cosas (IoT) para optimizar la gestión del tiempo de inactividad: un estudio de caso de iluminación inteligente", en *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, vol. 548, 2019.
- [10] ZN Jawad y V. Balázs, "Optimización impulsada por aprendizaje automático de sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP): una revisión exhaustiva", *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, vol. 13, núm. 11, 2024.
- [11] D. Ivanov, CS Tang, A. Dolgui, D. Battini, y A. Das, "Perspectivas de los investigadores sobre la Industria 4.0: análisis multidisciplinario y oportunidades para la gestión de operaciones", *International Journal of Production Research*, vol. 59, no. 7, pp. 2055–2078, 2021.