


Artículo de revisión


La importancia de la optimización de procesos con IoT en el sector industrial

The importance of process optimization with IoT in the industrial sector


GUSTAVO ANDRÉ VIGO RODRÍGUEZ¹

 <https://orcid.org/0009-0009-0015-7685>

EDUARDO JOSE VELARDE GONZALES²

 <https://orcid.org/0009-0001-2466-9388>

ALBERTO CARLOS MENDOZA DE LOS SANTO³

 <https://orcid.org/0000-0002-0469-915X>

Recibido: 24/07/2024

Aceptado: 19/12/2024

Publicado: 23/12/2024

^{1,2,3}Escuela de Ingeniería de Sistemas, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, La Libertad, Perú.
E-mail: ¹ t1513300721@unitru.edu.pe, ² t1513300621@unitru.edu.pe, amendoza@unitru.edu.pe³



Resumen

Este análisis examina cómo el Internet de las Cosas (IoT) optimiza los procesos industriales en el contexto de la Industria 4.0, abordando desafíos relacionados con la seguridad de los datos y los altos costos iniciales de inversión. Mediante el protocolo PRISMA para una revisión sistemática, se utilizó la ecuación de búsqueda “process AND optimization AND IoT AND industry” en las bases de datos Scopus, Redalyc y Google Académico, analizando un total de 29 documentos. Los resultados destacan la implementación de tecnologías como gemelos digitales, mantenimiento predictivo y una gestión logística más eficiente, lo que permite ajustes automáticos basados en la recopilación de datos en tiempo real a través de sensores. Estas herramientas optimizan el rendimiento de las máquinas, reducen residuos y promueven la sostenibilidad. Asimismo, el análisis de datos mejora la toma de decisiones, permitiendo a las industrias adaptarse de forma ágil a las demandas del mercado. Se concluye que, si bien la inversión inicial en IoT es significativa, los beneficios a largo plazo en términos de productividad, competitividad y sostenibilidad superan ampliamente los costos iniciales, destacando además la importancia de implementar medidas de seguridad adecuadas para proteger los datos recopilados.

Palabras clave: industria 4.0; internet de las Cosas (IoT); optimización de procesos; mantenimiento predictivo; gestión logística

Abstract

This analysis examines how the Internet of Things (IoT) optimizes industrial processes in the context of Industry 4.0, addressing challenges related to data security and high initial investment costs. Using the PRISMA protocol for a systematic review, the search equation “process AND optimization AND IoT AND industry” was used in the Scopus, Redalyc and Google Scholar databases, analyzing a total of 29 papers. The results highlight the implementation of technologies such as digital twins, predictive maintenance and more efficient logistics management, allowing automatic adjustments based on real-time data collection through sensors. These tools optimize machine performance, reduce waste and promote sustainability. In addition, data analysis improves decision-making, enabling industries to adapt nimbly to market demands. It is concluded that, although the initial investment in IoT is significant, the long-term benefits in terms of productivity, competitiveness and sustainability far outweigh the initial costs, highlighting the importance of implementing adequate security measures to protect the data collected

Keywords: industry 4.0; internet of Things (IoT); process optimization; predictive maintenance; logistics management.



1. Introducción

Actualmente, la digitalización está transformando las industrias, y el Internet de las Cosas (IoT) se ha consolidado como un motor clave de este cambio, revolucionando la forma en que operan y se desarrollan los sectores productivos. En particular, la industria manufacturera busca constantemente mejorar la eficiencia, reducir tiempos de inactividad y minimizar costos, siendo el mantenimiento de equipos un área clave para introducir mejoras (Elkateb et al., 2024). El IoT, en términos simples, es una red de objetos interconectados que transfieren datos entre sí sin intervención humana. Estos objetos pueden incluir dispositivos, máquinas, animales, personas y más. Aunque no es una tecnología nueva por sí misma, IoT integra múltiples tecnologías que, al combinarse, crean sistemas interconectados con capacidades analíticas avanzadas (Borgosz & Dikicioglu, 2024).

Una de las principales ventajas actuales del IoT es su accesibilidad económica. Los dispositivos y sistemas IoT compiten favorablemente con alternativas tradicionales, facilitando su adopción en diversos entornos, desde industrias hasta hogares y oficinas. Esta competitividad reduce barreras de entrada para su implementación incluso en condiciones desafiantes, optimizando costos y eficiencia (Aguilar Lugo et al., 2020). Además, los datos generados por dispositivos IoT pueden ser analizados mediante inteligencia artificial y algoritmos de machine learning, proporcionando predicciones útiles y conocimientos valiosos para mejorar la toma de decisiones. Por ejemplo, estos datos permiten crear modelos predictivos que pronostican fallas en los equipos, optimizan cronogramas de mantenimiento y reducen tiempos de inactividad. Asimismo, herramientas habilitadas con IoT están mejorando la eficiencia y transparencia en la gestión de cadenas de suministro (Rane et al., 2024; Adhicandra et al., 2024).

La Industria 4.0 ha integrado el IoT en la vida cotidiana, permitiendo que sensores, software y dispositivos se conecten e intercambien datos en tiempo real a través de Internet. Tecnologías como NB-IoT también están potenciando la comunicación inalámbrica, permitiendo redes confiables entre máquinas, sensores y otros dispositivos industriales (Skéré et al., 2023; Danganana et al., 2024).

Sin embargo, esta transformación no está exenta de desafíos. La digitalización plantea riesgos significativos en la seguridad, integridad y privacidad de los datos, especialmente en entornos industriales. Los ciberataques pueden impactar negativamente el entorno empresarial, lo que hace indispensable implementar soluciones preventivas y sistemas de defensa robustos (Bobde et al., 2024; Erboz, 2017). Para muchas industrias, incluso pequeñas mejoras en calidad o productividad, del 1 % al 2 %, pueden generar beneficios significativos, como ahorro energético, reducción de residuos, tiempos de fabricación más cortos, mejoras en la seguridad y disminución del impacto ambiental (Díaz & González Acevedo, 2022). Estos beneficios reflejan el potencial del IoT para transformar procesos productivos, integrar cadenas de suministro y optimizar recursos.

A la luz de estas oportunidades y desafíos, esta investigación tiene como objetivo analizar los principales beneficios del IoT en la optimización de procesos industriales, así como identificar sus limitaciones. Se formula la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué beneficios aporta el IoT para la optimización de procesos en el sector industrial?, por tanto, la

investigación busca proporcionar una guía práctica para abordar los desafíos y maximizar el impacto positivo de esta tecnología en las industrias.

2. Metodología

La revisión se llevó a cabo siguiendo las directrices de PRISMA 2020, un conjunto de recomendaciones actualizadas para realizar búsquedas sistemáticas y seleccionar estudios en bases de datos científicas relevantes (Page et al., 2021). El objetivo fue recopilar y analizar información sobre el impacto del Internet de las Cosas (IoT) en la optimización de procesos industriales. A continuación, se describe el procedimiento realizado

2.1. Búsqueda inicial

La búsqueda inicial se diseñó en torno a la pregunta de investigación: "La importancia de la optimización de procesos con IoT en el sector industrial". Los términos clave identificados fueron "Optimización de procesos", "Internet de las cosas" e "Industria", combinados mediante el operador lógico AND para garantizar resultados relevantes.

La búsqueda se realizó el 13 de junio de 2024 en las bases de datos Scopus, Redalyc y Google Académico, seleccionadas por su amplia cobertura de publicaciones científicas. Se definieron parámetros claros para acotar los resultados y evitar información irrelevante o redundante.

2.2. Criterios de inclusión y exclusión

Se establecieron criterios específicos para garantizar la relevancia y actualidad de los documentos seleccionados:

- *Rango de fechas:* Se incluyeron estudios publicados entre 2017 y 2024, asegurando que los hallazgos fueran recientes y aplicables al contexto actual.
- *Palabras clave:* Los términos de búsqueda fueron "process", "optimization", "IoT" e "industry", combinados con el operador lógico AND. Estos términos se intentaron buscar tanto en español como en inglés. Sin embargo, se observó una limitada disponibilidad de documentos relevantes en español en las bases de datos consultadas. Como resultado, se incluyeron documentos en ambos idiomas, priorizando la relevancia sobre el idioma.
- *Enfoque temático:* Se excluyeron artículos que, aunque relacionados con IoT, se enfocaban en áreas no pertinentes al objetivo del estudio, como la agricultura o la salud.

El uso de estos criterios permitió filtrar los resultados y centrarse en estudios que abordaran específicamente la interacción entre IoT y la optimización de procesos industriales. Cabe destacar que incluir todos los términos clave fue esencial, ya que omitir alguno habría generado resultados menos enfocados, abarcando temáticas generales sobre IoT sin relevancia directa para la industria.



Tabla 1

Bases de datos utilizadas, ecuaciones de búsqueda y número de documentos encontrados

Base de Datos	Ecuación de Búsqueda	Nº Documentos
Scopus	Title-ABS-key (process and optimization and iot and industry) and Pubyear > 2017 and pubyear < 2025 and (limit-to (srctype, "j")) and (limit-to (doctype, "ar")) and (limit-to (pubstage, "final")) and (limit-to (language, "English") or limit-to (language, "Spanish"))	207
Redalyc	Process and optimization and iot and industry	63
Google Académico	Process and optimization and iot and industry	14

Tabla 2

Criterios de inclusión y exclusión utilizados en la revisión sistemática

Criterios de Inclusión	Criterios de Exclusión
Artículos publicados relacionados a la optimización de procesos industriales con IoT	Documentos que aún no están en la etapa final de publicación y no son considerados artículos
Publicado desde hace 7 años	Publicado hasta el 2017
En español o inglés	En cualquier idioma distinto al español o inglés.
Acceso libre	Acceso restringido

2.3. Proceso de recolección de la información

El proceso de recolección de información fue diseñado para garantizar la exhaustividad y relevancia de los documentos seleccionados. Cada uno de los registros obtenidos en las bases de datos Scopus, Redalyc y Google Académico fue revisado siguiendo los pasos descritos a continuación (figura 1):

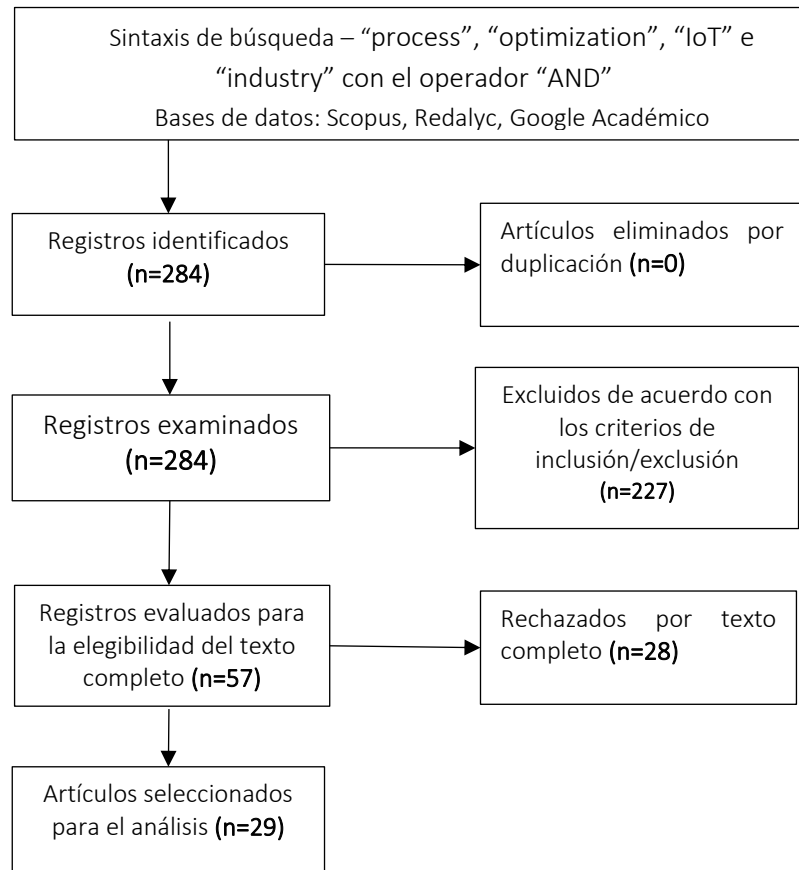
Revisión de títulos y resúmenes: Se realizó una evaluación preliminar de los títulos y resúmenes para determinar su pertinencia con respecto a los objetivos de la investigación. se descartaron aquellos registros que no estaban directamente relacionados con el IoT y su impacto en la optimización de procesos industriales.

Revisión del texto completo: Los artículos seleccionados en la etapa anterior fueron analizados en su totalidad para confirmar su relevancia y verificar que cumplieran con los criterios de inclusión establecidos. esta etapa permitió identificar detalles metodológicos, hallazgos y conclusiones relevantes para el tema de estudio.

Organización de los documentos seleccionados: Los estudios que cumplían con los criterios fueron organizados en una base de datos para facilitar su análisis posterior. Se registraron detalles clave como el título del artículo, autores, año de publicación, palabras clave, objetivos, metodología y principales hallazgos.

Figura 1

Proceso de Recolección de Datos



Se aplicaron varios criterios de exclusión a los documentos revisados, resultando en la eliminación de 227 documentos. De estos, 209 fueron excluidos por no centrarse en la industria, 9 por carecer de suficiente profundidad técnica, 1 por una metodología de investigación insuficiente, y 8 debido a datos poco confiables (Tabla 3)

Tabla 3

Criterios de exclusión aplicados a los documentos revisados

Criterios de Exclusión	Nº Documentos Excluidos
No se centra en la industria	209
No cuenta con profundidad técnica suficiente	9
Metodología de investigación insuficiente	1
Datos poco confiables	8



3. Resultados

Para la investigación presente, se ha realizado una revisión sistemática en la que se han encontrado múltiples documentos. A continuación, se muestran las figuras resultantes de la búsqueda que se hizo en Scopus. La Figura 2 fue generada considerando los países con mayor número de publicaciones, así como la cantidad de artículos en general producidos durante los años 2018 al 2024. En la figura 3 se aprecia los 10 países con más artículos resultantes.

Figura 1

Artículos por país o territorio y disponibles por año en Scopus

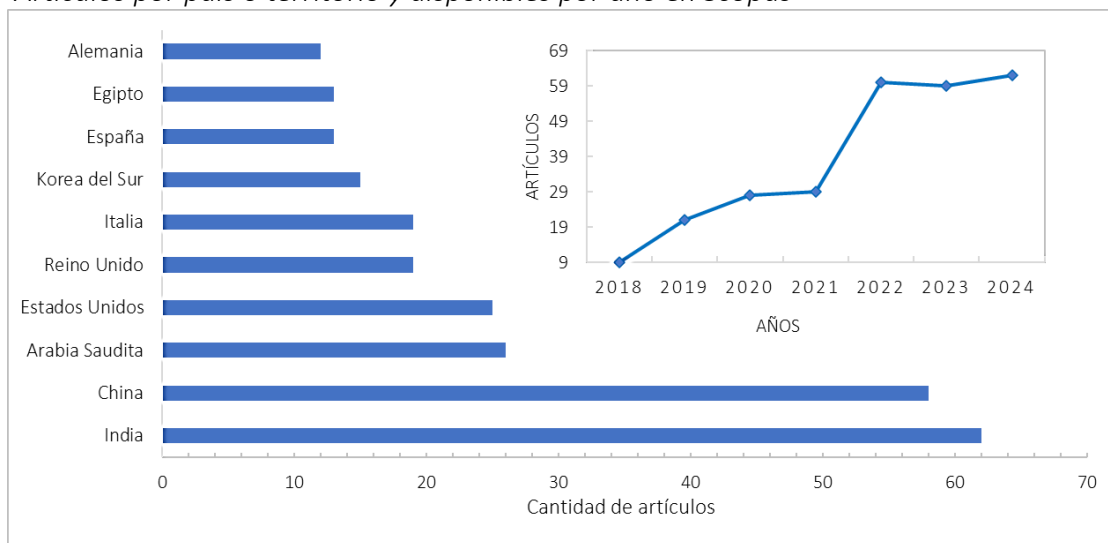
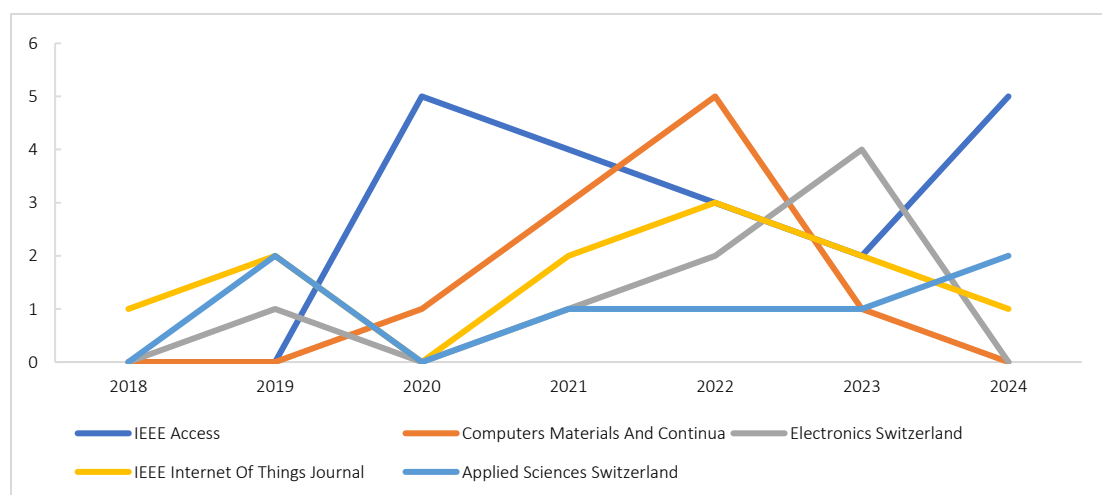


Figura 2

Documentos publicados según su fuente en Scopus (anual)



Entre los resultantes, se han escogido 20 artículos. El análisis sobre estos se muestra a continuación:

Tabla 4
Análisis de los artículos académicos

N°	Resultado	Tipo de industria
1	Demuestra cómo el IoT mejora el control operativo con gemelos digitales y sistemas SCADA 3D, optimizando procesos, reduciendo errores y aumentando eficiencia y seguridad. Monitoreo en tiempo real mejora la calidad del producto final (Martinez-Ruedas et al., 2024)	Agroindustria (sector olivícola)
2	Explica cómo el IoT y gemelos digitales reducen costos operativos con un mantenimiento predictivo, anticipando fallos y planificando intervenciones antes de que se generen problemas mayores. Optimiza la cadena de suministro con visibilidad en tiempo real y mejora la eficiencia energética, reduciendo costos y el impacto ambiental. Control de calidad en tiempo real para aumentar la satisfacción del cliente y reducir desperdicios (Khdoudi et al., 2024).	Manufactura
3	Muestra cómo el IoT detecta y resuelve cuellos de botella en tiempo real, dando una mejora significativa a la eficiencia operativa. Identifica y soluciona rápidamente los problemas, minimiza tiempos de inactividad y aumenta la productividad, proporcionando datos para analizarlos y optimizar continuamente (Rodríguez Aguilar et al., 2024).	Manufactura
4	Explora cómo el IoT y la IA reducen el uso de energía y optimizan la gestión de equipos remotamente mejorando el rendimiento. La toma de decisiones rápida y precisa que se basa en datos en tiempo real y el mantenimiento predictivo prolongan la vida útil de los equipos y reducen costos de mantenimiento (Mikołajewski et al., 2024).	Industria 4.0 general
5	Destaca cómo el IoT mejora la calidad del producto en manufactura aditiva, reduce desperdicio y hace que el mantenimiento predictivo sea más fácil. También el monitoreo continuo y ajustes en tiempo real para asegurar la calidad, también se optimiza el uso de energía y materiales para una producción sostenible y eficiente (Kunchala et al., 2023).	Manufactura aditiva
6	Describe cómo el IoT y el machine learning disminuyen costos de mantenimiento al predecir fallos y planificar intervenciones preventivas, mejorando la disponibilidad y eficiencia operativa. El análisis de big data permite mejorar la toma de decisiones y la optimización de procesos, anticipando problemas antes de que ocurran (Rosati et al., 2023).	Industria 4.0 general
7	Explica cómo el IoT reduce la necesidad de personal técnico especializado al automatizar la supervisión y mantenimiento, beneficiando a las PYMES al mejorar la calidad de procesos, optimizar la cadena de suministro y reducir costos operativos (Skèrè et al., 2023).	PYMES
8	Ilustra cómo el IoT aumenta la precisión y flexibilidad de la producción mediante digitalización y el monitoreo en tiempo real, de esta manera mejorando la gestión de producción y adaptándose rápidamente al cambio del mercado (Ntamo et al., 2022).	Manufactura de productos formulados
9	Expone cómo el IoT predice fallos y optimiza cronogramas de mantenimiento, reduciendo tiempos de inactividad y costos operativos, mejorando la eficiencia y productividad industrial (Fasuludeen Kunju et al., 2022).	Industria 4.0 general



Tabla 4 (continuación)

N°	Resultado	Tipo de industria
10	Explica cómo el IoT moderniza procesos de producción integrando maquinaria antigua en la Industria 4.0, permitiendo el monitoreo y control en tiempo real sin reemplazos costosos (Dayam et al., 2021).	Manufactura
11	Demuestra cómo el IoT mejora la eficiencia operativa en gestión logística con decisiones proactivas, también la interconexión de recursos y automatización de procesos. El rastreo y la gestión de inventarios en tiempo real aseguran entregas a tiempo, reduciendo costos de almacenamiento y distribución (Lopes & Moori, 2021).	Gestión logística
12	Argumenta cómo el IoT incrementa la eficiencia de procesos industriales, genera nuevos negocios y crea puestos de trabajo, mejorando competitividad e innovación (Candia et al., 2018).	Industria 4.0 general
13	Muestra cómo el IoT redefine relaciones entre empresas y clientes en la industria de confección, mejorando eficiencia y permitiendo nuevas estrategias de negocio con una visión completa del ciclo de vida del producto (Vega Rodríguez et al., 2019).	Industria de la confección
14	Explica cómo el IoT identifica tendencias y reduce fallas en el proceso de moldeo por inyección de plástico, optimizando funcionamiento de líneas de producción y aumentando la productividad (Aguilar Lugo et al., 2020).	Manufactura de plástico
15	Describe cómo el IoT optimiza producción y reduce costos mediante uso eficiente de materiales y energía, aumentando sostenibilidad y reduciendo residuos (Mora Sánchez & Guerrero Marín, 2020).	Industria 4.0 general
16	Muestra cómo el IoT mejora el rendimiento de máquinas con supervisión y control en tiempo real, reduciendo costos operativos con mantenimiento predictivo y aumentando disponibilidad de equipos (Carrera Hidalgo, 2021).	Industria 4.0 general
17	Explica cómo el IoT mejora la eficiencia operativa al permitir ajustes automáticos basados en datos continuos, optimizando variables críticas y reduciendo costos (Díaz & González Acevedo, 2022).	Industria 4.0 general
18	Describe cómo el IoT mejora eficiencia industrial optimizando factores energéticos y de producción, usando tecnologías económicas y efectivas como ordenadores de placa reducida (Ortíz Álvarez, 2022).	Industria 4.0 general
19	Demuestra cómo el IoT asegura precisión y eficiencia en el envasado de leche con PLCs y HMI, de esta manera mejorando formación en control industrial y reduciendo desperdicio (Páramo Flores & López Sabando, 2023).	Industria alimentaria (procesamiento de leche)
20	Expone cómo el IoT proporciona monitoreo constante de centros de datos, detectando problemas y optimizando operaciones, mejorando fiabilidad y seguridad con integración en la nube (Vásquez Moreno et al., 2023).	PYMES (centros de datos)

Por otro lado, se ha resumido una guía para afrontar los desafíos del Internet de las Cosas que se muestran en la tabla 5.

Tabla 5
Guía para afrontar los desafíos del IoT

Desafío	Estrategia	Detalles Prácticos
Adopción Tecnológica Desigual	Programas de financiamiento	Buscar apoyos financieros o programas de innovación que faciliten la primera inversión.
	Implementación por fases	Adoptar IoT de manera gradual, comenzando con pruebas en áreas críticas.
	Uso de soluciones de bajo costo	Optar por tecnologías escalables como sensores básicos y software de código abierto.
	Colaboración con expertos externos	Asociarse con consultores o empresas proveedoras de soluciones IoT que ofrezcan servicios personalizados.
Ciberseguridad y Protección de Datos	Medidas básicas de seguridad	Implementar cifrado de datos y autenticación multifactorial.
	Monitoreo y auditorías de seguridad	Instalar herramientas de monitoreo continuo y realizar auditorías periódicas para identificar y mitigar las vulnerabilidades.
	Uso de plataformas seguras	Seleccionar proveedores de servicios IoT que ofrezcan medidas de seguridad buenas y de soporte continuo.
	Capacitación en ciberseguridad	Capacitar al personal regularmente en prácticas de seguridad cibernética y uso seguro de dispositivos IoT.
Flexibilidad Operativa y Adaptación	Integración de plataformas de análisis	Utilizar dashboards IoT para monitorear procesos y adaptar operaciones rápidamente a las fluctuaciones del mercado.
	Automatización de procesos	Implementar sistemas que ajusten automáticamente los parámetros de producción basados en datos en tiempo real.
	Optimización de la cadena de suministro	Integrar soluciones IoT para mejorar el rastreo de activos y la gestión de inventarios.
Integración con Sistemas Heredados	Uso de tecnologías interoperables	Seleccionar dispositivos y plataformas IoT compatibles con sistemas heredados mediante protocolos estándar.
	Implementación gradual	Realizar integraciones por módulos para minimizar interrupciones en las operaciones existentes.
	Modernización sin reemplazo completo	Incorporar sensores inteligentes en maquinaria antigua para permitir un monitoreo en tiempo real sin reemplazar equipos.
	Capacitación técnica	Capacitar al personal para usar los sistemas y el mantenimiento de ellos para que se adapten más fácil a la nueva tecnología.



Tabla 5 (Continuación)

Desafío	Estrategia	Detalles Prácticos
Estrategias Específicas para PYMES	Desarrollo de programas de capacitación	Desarrollar capacitaciones internas que incluyan teoría y práctica sobre el uso y gestión del IoT.
	Uso de soluciones modulares	Adoptar sistemas modulares que permitan una implementación escalable y económica.
	Colaboración con proveedores tecnológicos	Establecer alianzas con proveedores que ofrezcan soporte técnico y programas de mantenimiento.
Medición y Monitoreo Continuo	Implementación de KPIs	Definir y monitorear indicadores clave de rendimiento para evaluar el impacto del IoT en la operación.
	Uso de dashboards personalizados	Implementar paneles de control interactivos para visualizar en tiempo real los datos y ajustar operaciones de manera eficaz.
	Revisiones periódicas	Realizar evaluaciones del sistema IoT para identificar mejoras y ajustar estrategias en caso se necesite.

4. Discusión

La implementación del IoT en la industria mejora significativamente la eficiencia, sostenibilidad y productividad de las operaciones. Este estudio respalda que el monitoreo en tiempo real, facilitado por sensores y dispositivos conectados, optimiza el rendimiento de máquinas y equipos al permitir ajustes automáticos (Martínez Ruedas et al., 2024). Además, el monitoreo continuo fortalece la seguridad laboral y la calidad del producto al detectar problemas oportunamente y prevenir fallos catastróficos.

El IoT optimiza procesos al identificar cuellos de botella, mejorar el flujo de trabajo y facilitar respuestas ágiles a cambios del mercado, aumentando la competitividad (Rodríguez Aguilar et al., 2024). Al permitir ajustes en tiempo real, reduce el desperdicio y mejora la sostenibilidad. Este estudio confirma que las aplicaciones más efectivas ocurren en sectores que integran sensores inteligentes y análisis con IA, minimizando recursos y residuos (Vásquez Moreno et al., 2023; Rosati et al., 2023).

El mantenimiento predictivo basado en aprendizaje automático prevé fallos, reduce tiempos de inactividad y optimiza costos operativos (Carrera Hidalgo, 2021; Ortíz Álvarez, 2022). Sin embargo, mientras las grandes empresas adoptan estas tecnologías rápidamente, las PYMES enfrentan barreras económicas y tecnológicas que limitan su implementación, evidenciando una brecha poco abordada en estudios previos.

La interoperabilidad entre dispositivos de diferentes fabricantes y la falta de estándares comunes dificultan la integración del IoT, reduciendo su eficiencia (Pérez López, 2023; Valenzuela et al., 2024). Además, los altos costos iniciales limitan su adopción, especialmente

en PYMES, que requieren apoyo financiero o incentivos para superar este desafío. La interconexión de dispositivos en el IoT aumenta el riesgo de ciberataques, afectando operaciones y privacidad, especialmente en sectores sensibles como la manufactura médica (Gómez et al., 2024; Rojas y Santos, 2023). La ciberseguridad y la capacitación son esenciales, aunque su costo sigue siendo una barrera para las PYMES.

El IoT tiene un gran potencial para transformar la industria, mejorando eficiencia, sostenibilidad y reduciendo desperdicios. No obstante, desafíos como los costos iniciales, la falta de interoperabilidad y riesgos de seguridad limitan su adopción. Políticas públicas e investigaciones futuras deben enfocarse en soluciones accesibles y estándares para maximizar su impacto.

5. Conclusiones

La implementación del IoT ha transformado la eficiencia operativa industrial mediante el control en tiempo real, el mantenimiento predictivo y la mejora de la seguridad y calidad de los productos, reduciendo costos y tiempos de inactividad. Además, ha aumentado la flexibilidad productiva, permitiendo una rápida adaptación a los cambios del mercado y fortaleciendo la sostenibilidad y la imagen corporativa.

La protección de datos sensibles mediante tecnologías avanzadas es clave para garantizar la confianza de clientes y socios, mientras que la automatización logística mejora el seguimiento de activos, la eficiencia del inventario y la respuesta de la cadena de suministro.

Para maximizar los beneficios del IoT, las empresas deben alinear las tecnologías con sus objetivos estratégicos, invertir en capacitación continua e integrar el IoT con sistemas existentes. Finalmente, un monitoreo constante asegura la optimización y el ajuste necesarios para una infraestructura conectada y eficiente.

6. Referencias Bibliográficas

- Adhicandra, I., Tanwir, T., Asfahani, A., Sitopu, J. W., & Irawan, F. (2024). Latest innovations in Internet of Things (IoT): Digital transformation across industries. *Innovative: Journal of Social Science Research*, 4(3), 1027–1037. <https://doi.org/10.31004/innovative.v4i3.10551>
- Aguilar Lugo, J. I., Ibarra Esquer, J. E., & Bernal, M. A. (2020). Aplicación del internet industrial de las cosas (iiot) en líneas de manufactura por proceso de moldeo por inyección de plástico. *ReCIBE. Revista electrónica de Computación, Informática, Biomédica Y Electrónica*, 9(2), 1-22. <https://doi.org/10.32870/recibe.v9i2.160>
- Attaran, S., Attaran, M., & Celik, B. G. (2024). Digital twins and industrial Internet of Things: Uncovering operational intelligence in Industry 4.0. *Decision Analytics Journal*, 10, 100398. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2024.100398>
- Bobde, Y., Narayanan, G., Jati, M., Raj, R. S. P., Cvitić, I., & Peraković, D. (2024). Enhancing industrial IoT network security through blockchain integration. *Electronics*, 13(4), 687. <https://doi.org/10.3390/electronics13040687>



- Borgosz, L., & Dikicioglu, D. (2024). Industrial Internet of Things: What does it mean for the bioprocess industries? *Biochemical Engineering Journal*, 201, 109122. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2023.109122>
- Candia, L. D., Rodríguez, A. S., Castro, N., Bazán, P. A., Ambrosi, V. M., & Díaz, F. J. (2018). Mejoras en maquinaria industrial con IoT: hacia la industria 4.0. *XXIV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación*, 715-724. Obtenido de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/73348>
- Carrera Hidalgo, Á. I. (2021). Desarrollo de una plataforma IoT para la supervisión y control de procesos industriales de fabricación inteligente en tiempo real a través de la nube (Tesis de maestría, Universidad Politécnica Salesiana). Repositorio Institucional. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20134>
- Dangana, M., Hussain, S., Ansari, S., Imran, M., & Zoha, A. (2024). A Digital Twin (DT) approach to Narrow-Band Internet of Things (NB-IoT) wireless communication optimization in an industrial scenario. *Internet of Things*, 25, 101113. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2024.101113>
- Dayam, S., Desai, K. A., & Kuttolamadom, M. (2021). In-Process Dimension Monitoring System for Integration of Legacy Machine Tools into the Industry 4.0 Framework. *Smart and Sustainable Manufacturing Systems*, 5(1), 242–263. <https://doi.org/10.1520/SSMS20210021>
- Díaz, A., & González Acevedo, H. (2022). Diseño de un sistema de comunicación IoT para el monitoreo y control de variables de procesos industriales. *REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGIAS DE AVANZADA (RCTA)*, 1(39), 32–36. <https://doi.org/10.24054/rcta.v1i39.1371>
- Elkateb, S., Métwalli, A., Shendy, A., & Abu-Elanien, A. E. B. (2024). Machine learning and IoT-based predictive maintenance approach for industrial applications. *Alexandria Engineering Journal*, 88, 298-309. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.12.065>
- Erboz, G., (2017). How to Define Industry 4.0: The Main Pillars Of Industry 4.0. *MANAGERIAL TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF ENTERPRISES IN GLOBALIZATION ERA*, pp. 761-767. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/326557388> How To Define Industry 40 Main Pillars Of Industry 40
- Fasuludeen Kunju, F. k., Naveed, N., Anwar, M. N., & Ul Haq, M. I. (2022). Production and maintenance in industries: impact of industry 4.0. *Industrial Robot*, 49(3), 461-475. <https://doi.org/10.1108/IR-09-2021-0211>
- Khdoudi, A., Masrour, T., El Hassani, I., & El Mazgualdi, C. (2024). A Deep-Reinforcement-Learning-Based Digital Twin for Manufacturing Process Optimization. *Systems*, 12(2), 38. <https://doi.org/10.3390/systems12020038>
- Kunchala, B. K., Gamini, S., & Anilkumar, T. C. (2023). Inclusion of IoT technology in additive manufacturing: Machine learning-based adaptive bead modeling and path planning for sustainable wire arc additive manufacturing and process optimization. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 237(1), 120-132. <https://doi.org/10.1177/095444062221117660>

- Lopes, Y. M., & Moori, R. G. (2021). The role of IoT on the relationship between strategic logistics management and operational performance. *Revista de Administração Mackenzie*, 22(3), 1-27. <https://doi.org/10.1590/1678-6971/eRAMR210032>
- Martinez Ruedas, C., Flores Arias, J. M., Moreno Garcia, I., Linan Reyes, M., & Bellido Outeiriño, F. J. (2024). A Cyber–Physical System Based on Digital Twin and 3D SCADA for Real-Time Monitoring of Olive Oil Mills. *Technologies*, 12(5), 60. <https://doi.org/10.3390/technologies12050060>
- Mikołajewski, D., Czerniak, J. M., Piechowiak, M., Węgrzyn-Wolska, K., & Kacprzyk, J. (2024). Internet of Things and AI-based optimization within Industry 4.0 paradigm. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*, 72(1), e147346. <https://doi.org/10.24425/bpasts.2023.147346>
- Mora Sánchez, D., & Guerrero Marín, L. (2020). Industria 4.0: el reto en la ruta hacia las organizaciones digitales. *Estudios De La Gestión: Revista Internacional De Administración* (8), 186–209. <https://doi.org/10.32719/25506641.2020.8.7>
- Ntamo, D., Lopez Montero, E., Mack, J., Omar, C., Highett, M. I., Moss, D., . . . Zandi, M. (2022). Industry 4.0 in Action: Digitalisation of a Continuous Process Manufacturing for Formulated Products. *Digital Chemical Engineering*, 3, 100025. <https://doi.org/10.1016/j.dche.2022.100025>
- Ortíz Alvarez, L. E. (2022). Diseño e implementación de sistemas IoT a un entorno industrial utilizando un ordenador de placa reducida (Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala). Repositorio institucional. Obtenido de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/17478>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L. A., Stewart, L. A., Thomas, J., Tricco, A. C., Welch, V. A., Whiting, P., & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *International Journal of Surgery*, 88, 105906. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2021.105906>
- Páramo Flores, J. A., & López Sabando, C. X. (2023). Simulación del proceso de envasado de leche mediante PLC, pantalla HMI y plataforma IoT (Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana). Repositorio institucional. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26028>
- Rane, N. L., Kaya, Ö., & Rane, J. (2024). Integrating internet of things, blockchain, and artificial intelligence techniques for intelligent industry solutions. In *Artificial Intelligence, Machine Learning, and Deep Learning for Sustainable Industry 5.0* (pp. 115-136). Deep Science Publishing. https://doi.org/10.70593/978-81-981271-8-1_6
- Rodríguez Aguilar, M. J., Abad Cardiel, I., & Cerrada Somolinos, J. A. (2024). IIoT System for Intelligent Detection of Bottleneck in Manufacturing Lines. *Applied Sciences*, 14(1), 323. <https://doi.org/10.3390/app14010323>
- Rosati, R., Romeo, L., Cecchini, G., Tonetto, F., Viti, P., Mancini, A., & Frontoni, E. (2023). From knowledge-based to big data analytic model: a novel IoT and machine learning based



- decision support system for predictive maintenance in Industry 4.0. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 34(1), 107–121. <https://doi.org/10.1007/s10845-022-01960-x>
- Skèrè, S., Žvironienė, A., Juzėnas, K., & Petraitiėnė, S. (2023). Optimization Experiment of Production Processes Using a Dynamic Decision Support Method: A Solution to Complex Problems in Industrial Manufacturing for Small and Medium-Sized Enterprises. *Sensors*, 23(9), 4498. <https://doi.org/10.3390/s23094498>
- Vásquez Moreno, R. D., Muñoz González, L. G., & Neira Martínez, A. (2023). Monitoreo y gestion de los centros de datos para las pequeñas y medianas empresas mediante el uso de las tecnologías 4.0 (IoT y Cloud) (Tesis de licenciatura, Universidad Santo Tomas). Repositorio institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11634/53609>
- Vega Rodríguez, L. Y., Gaviria, F. A., & Botero, L. E. (2019). La interactividad y la conectividad al servicio de la industria de la confección. *Lámpsakos (revista Descontinuada)*, 22, 106–122. <https://doi.org/10.21501/21454086.3071>