

Mejora de la eficiencia operativa en la cadena de suministro: una revisión sistemática sobre las aplicaciones de la inteligencia artificial

¹María I. Cochachin-Maguiña , ²José A. Lopez-Santacruz , ³Edgar Coaquira-Torres , ⁴Juan P. Gómez-Montoya 
⁵Jhuliana M. Rojas-Rimbaldo 
^{1,2,3,4}Universidad Tecnológica del Perú, Perú, U18203190@utp.edu.pe, U20222334@utp.edu.pe, C26817@utp.edu.pe
 C23113@utp.edu.pe
⁵ Perú, jrojas@dechini.com.pe

Resumen— En la actualidad, las cadenas de suministro se han vuelto cada vez más complejas debido a la globalización, lo que ha impulsado a las empresas a buscar alternativas innovadoras para conservar su ventaja competitiva. En este sentido, la inteligencia artificial (IA) ha emergido como un recurso fundamental para perfeccionar los procesos logísticos y aumentar la eficiencia en las operaciones. La finalidad principal de la Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) es examinar de qué manera la implementación de la IA contribuye a la mejora de la eficiencia operativa en las cadenas de suministro de compañías industriales. Para llevar a cabo este análisis, se utilizó la metodología PIOC (Problema, Intervención, Resultados, Contexto), que facilitó la formulación de preguntas de investigación precisas y orientó la selección de estudios pertinentes en bases de datos académicas como Scopus. El análisis de veinte publicaciones científicas evidenció que el uso de IA en el pronóstico de la demanda y la administración de inventarios representa las aplicaciones más relevantes, aportando un 25% y un 20% al desempeño global, respectivamente. Además, la optimización de rutas y el mantenimiento predictivo demostraron tener un efecto considerable, con un 15%. Los resultados sugieren que la adopción de IA no solo incrementa la eficiencia al reducir costos y tiempos de inactividad, sino que también ayuda a las empresas a responder ágilmente a los cambios del entorno. Este estudio amplía el conocimiento sobre el impacto positivo de la IA en la cadena de suministros, resaltando su importancia en la era digital actual.

Palabras Clave— Cadena de suministro, Inteligencia Artificial, Eficiencia Operativa, Empresas Industriales.

Abstract-- Currently, supply chains have become increasingly complex due to globalization, which has driven companies to seek innovative alternatives to maintain their competitive advantage. In this context, artificial intelligence (AI) has emerged as a fundamental resource for refining logistical processes and increasing operational efficiency. The main purpose of the Systematic Literature Review (SLR) is to examine how the implementation of AI contributes to improving operational efficiency in the supply chains of industrial companies. To carry out this analysis, the PIOC methodology (Problem, Intervention, Outcomes, Context) was used, which facilitated the formulation of precise research questions and guided the selection of relevant studies in academic databases such as Scopus. The analysis of twenty scientific publications showed that the use of AI in demand forecasting and inventory management represents the most relevant applications, contributing 25% and 20% to overall performance, respectively. In addition, route optimization and predictive maintenance also demonstrated a considerable effect,

with 15%. The results suggest that adopting AI not only increases efficiency by reducing costs and downtime, but also helps companies respond quickly to environmental changes. This study expands knowledge about the positive impact of AI on the supply chain, highlighting its importance in the current digital era.

Keywords-- Supply chain, Artificial Intelligence, Operational Efficiency, Industrial Companies.

I. INTRODUCCIÓN

La implementación de IA en las empresas industriales se ha convertido en un tema crucial en el contexto actual de la transformación digital [1]. Este fenómeno no solo plantea oportunidades significativas para mejorar la eficiencia operativa, sino que también presenta desafíos que requieren una atención cuidadosa. En este sentido, el análisis de cómo la IA puede optimizar procesos productivos, reducir costos y aumentar la competitividad es fundamental para entender su impacto en el sector industrial [2], [3].

La elección de este tema es pertinente debido a la creciente relevancia de la IA en el ámbito industrial, respaldada por un número creciente de estudios que demuestran su efectividad [4]. Artículos recientes han documentado casos exitosos donde la IA ha transformado operaciones, como en la optimización de cadenas de suministro y el mantenimiento predictivo [3], [5], lo que justifica la necesidad de una revisión sistemática de la literatura (RSL). Esta RSL permitirá identificar tendencias, beneficios y limitaciones asociados con la adopción de la IA, contribuyendo a un entendimiento más profundo sobre su aplicación en el entorno empresarial actual.

La finalidad de esta investigación se centra en responder la pregunta: ¿Cómo la aplicación de la IA mejora la eficiencia operativa de las cadenas de suministros en las empresas industriales? Este enfoque permitirá explorar no solo los beneficios tangibles que ofrece la IA, como la disminución de costos y el incremento de la productividad, sino también los aspectos cualitativos relacionados con la toma de decisiones y la mejora continua [5]. Al abordar esta cuestión, se espera contribuir al desarrollo de estrategias efectivas para implementar soluciones basadas en IA en el ámbito industrial.

La organización contenida en esta revisión se estructurará en varias secciones clave. Inicialmente, se presentó la metodología PIOC [6] (Problema, Intervención, Resultados, Contexto) para estructurar una pregunta y varias subpreguntas

de investigación y buscar respuestas precisas. Luego, se utilizó la declaración PRISMA [7] para la recolección de datos y evaluación de los estudios. Posteriormente, se extrajo los resultados de los artículos seleccionados en relación a las subpreguntas investigación. Finalmente, se discutió los resultados obtenidos por los autores, de esta manera se reflejó las oportunidades y desafíos que afrontan las empresas al adoptar estas tecnologías, proporcionando así un panorama completo sobre su impacto en la eficiencia operativa dentro del sector industrial.

II. METODOLOGÍA

En el presente estudio de revisión sistemática de la literatura se realizó haciendo uso de la metodología PIOC (Población, Intervención, Resultados, Contexto) [6]. Esta estructura permitió formular la pregunta de investigación central: **¿Cómo la aplicación de la IA mejora la eficiencia operativa de las cadenas de suministros en las empresas industriales?**, en base a esta interrogante se desarrolló varias subpreguntas en relación a cada componente de PIOC. Para la componente (P) la cual se refiere a la Problemática, se enunció la pregunta: **¿Cuáles son los tipos de cadenas de suministros utilizadas en cada rubro?**; Para la componente (I) la cual se refiere a la Intervención, se enunció la pregunta: **¿Cuáles son las principales aplicaciones de la IA en la cadena de suministro?**; Para la componente (O) la cual se refiere a los Resultados, se enunció la pregunta: **¿Cuáles son los indicadores de eficiencia operativa que se pueden mejorar mediante la IA?**, finalmente para la componente (C) la cual se refiere al Contexto, se enunció la pregunta: **¿En qué empresas industriales se ha aplicado la IA?**

Luego se procedió a identificar las palabras clave adecuadas en inglés, dado que las palabras clave en este idioma sirven para agrupar resultados en diferentes idiomas. Como se visualiza en la Tabla I.

TABLA I
PIOC – PALABRAS CLAVE

P	Problema	Cadena de Suministros	Supply network
			Supply chain management
			Distribution chain
			Supply system
			Logistics chain
I	Intervención	Aplicación de la Inteligencia Artificial	Artificial Intelligence
			Cognitive Computing
			Machine Learning
			Smart Device
			Intelligent Robotics
O	Resultados	Eficiencia Operativa	Operational Efficiency
			Efficiency
			Productivity

C	Contexto	Las empresas industriales	Interoperability
			Effectiveness
			Industrial Companies
			Manufacturing Companies
			Factories
			Industries
			Business Corporations

En este sentido, la búsqueda de estudios relevantes comienza a través de bases de datos científicas como Scopus. Donde, se utilizaron palabras clave en inglés relacionadas con "Supply chain", "Application of Artificial Intelligence", "Operational Efficiency" y "Industrial Companies". Por ende, se aplicó la ecuación de la búsqueda sistemática de la literatura para seleccionar los documentos publicados en los últimos cinco años y que estuvieran disponibles en texto completo. Dando como resultado la siguiente ecuación de búsqueda:

("Supply network" OR "Supply chain management" OR "Distribution chain" OR "Supply system" OR "Logistics chain") AND ("Artificial Intelligence" OR "Cognitive Computing" OR "Machine Learning" OR "Smart Device" OR "Intelligent Robotics") AND ("Operational Efficiency" OR efficiency OR productivity OR interoperability OR effectiveness) AND ("Industrial Companies" OR "Manufacturing Companies" OR factories OR industries OR "Business Corporations").

Además, se estableció criterios de inclusión para el cribado de estudios, que se detallan a continuación:

- CI1. Los estudios incluidos deben abordar la definición de la cadena de suministros en cada sector.
- CI2. Los estudios deben describir las principales aplicaciones de la IA en la cadena de suministros.
- CI3. Los artículos incluidos deben reportar resultados de los indicadores de la eficiencia operativa donde se halla aplicado la IA.
- CI4. Las publicaciones deben de ser desarrollados en entornos reales de empresas industriales

Adicionalmente, se estableció criterios de exclusión para la selección de estudios, que se describen a continuación:

- CE1. Documentos que se desarrollan en casos, en investigaciones de mercado.
- CE2. Tipo de registro que NO corresponde a artículo original (no se incluyen editorial, review, conference papers, conference review).
- CE3. Documentos en idiomas diferentes al español e inglés (chino y ucraniano).
- CE4. Publicaciones previas al año 2020 (fecha correspondiente a una RSL previa).

III. RESULTADOS

Dada la ecuación de búsqueda planteada, se realizó la consulta a través de la base de datos científicos (Scopus) donde se obtuvieron doscientos noventa y ocho registros los cuales fueron analizados mediante la declaración Prisma [7]. El análisis se enfocó en identificar artículos pertinentes, aplicando rigurosamente los criterios de inclusión y exclusión. En la Fig. 1 se evidencian las tres etapas del esquema Prisma. Primero, la fase exploratoria de identificación de artículos, donde se identificó doscientos noventa y ocho archivos sin registros duplicados, sin registros marcados como inapropiados por herramientas automatizadas y sin registros eliminados por otros motivos. El proceso de selección arrojó un total de doscientos noventa y ocho registros para evaluación, esto debidos a que solo se usó la base de datos de Scopus. Luego se evaluó los registros con base en los títulos y los resúmenes de estos, donde se excluyó noventa y ocho registros por no tener relación con la pregunta PIOC, quedando con doscientas publicaciones.

Posteriormente, se procedió a descargar las publicaciones en formato pdf, en el cual se eliminó setenta y seis publicaciones, quedando con ciento veinticuatro registros descargados en el formato solicitado. Después, se aplicó los criterios de exclusión a los archivos descargados, en donde se eliminaron: nueve publicaciones que eran estudios desarrollados en casos e investigaciones de mercado, setenta y siete fueron publicaciones de editorial, conference papers, conference review o review, tres publicaciones eran en idiomas diferentes al español e inglés y quince documentos eran anteriores al dos mil veinte en la fase de selección de artículos incluidos. Como resultado, se seleccionaron veinte publicaciones para que formarán parte de la investigación.

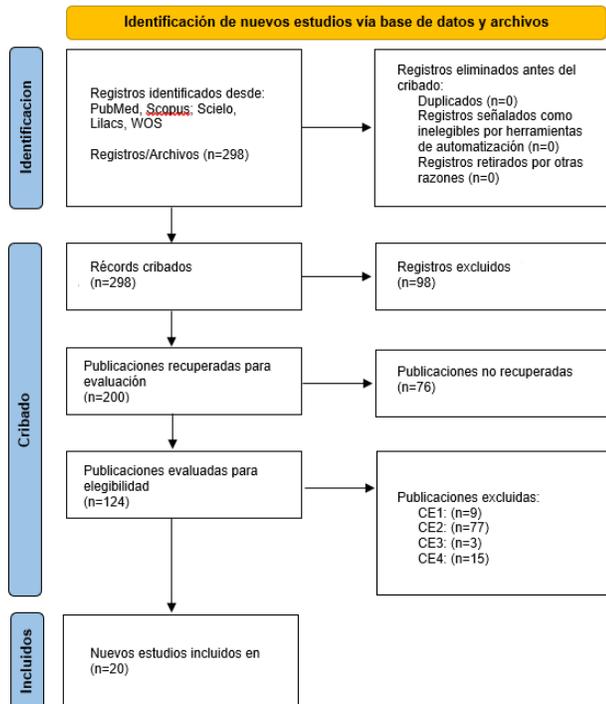


Fig. 1 Esquema del Diagrama de Flujo Prisma propuesta.

En esta sección, se muestran los resultados obtenidos de la RLS realizada en base a los veinte artículos académicos que abordan la implementación de la IA en la cadena de suministros. Mediante tablas y figuras de tipos de datos cualitativos y cuantitativos, se da respuesta a las interrogantes planteadas.

A. ¿Cuáles son los tipos de cadenas de suministros utilizadas en cada rubro?

La cadena de suministros, también conocida en inglés como Supply chain Management (SCM), es un sistema que incluye todas las actividades relacionadas con la fabricación y entrega de un artículo, desde la compra de materiales básicos hasta la distribución del producto terminado al cliente [1], [2], [3], [4], [5]. Este sistema abarca a todos los participantes, procedimientos y medios requeridos para convertir materias primas en artículos acabados que cumplen con la demanda del mercado [8].

Existen diversos tipos de SCM, cada una diseñada para satisfacer diferentes necesidades y objetivos empresariales; además de estar orientadas a distintos rubros según el modelo de negocio de las empresas. Por consiguiente, en la Tabla II se menciona los tipos de SCM junto con los rubros que más se usan actualmente.

TABLA II
TIPOS Y RUBROS DE LA CADENA DE SUMINISTRO

Tipo de cadena de suministro	Concepto	Rubro
Cadena de Suministro Directa	Modelo de negocio en el cual una compañía se encarga de fabricar y vender sus productos, prescindiendo de intermediarios [2].	Gestión del inventario.
		Predicción para mejorar la toma de decisiones
Cadena de Suministro Extensiva	El proceso va desde el distribuidor inicial de materias primas hasta el consumidor final y los clientes de este último [2].	Gestión del inventario.
		Predicción para mejorar la toma de decisiones
Cadena de Suministro Estratégica	Modelo que se enfoca en la toma de decisiones vinculadas con el tipo de tecnología utilizada para este propósito, la negociación con los proveedores y la disposición de cada producto en el depósito [8], [9].	Optimización de rutas de transporte.
		Monitoreo de producción.
		Gestión del inventario.
		Pronóstico de la demanda.
Cadena de suministro	Tarea estratégica y logística que comprende todas las actividades	Logística.
		Pronóstico de la demanda.

logística	necesarias para que un artículo o producto llegue al consumidor final [4], [9], [10], [11].	Optimización de rutas de transporte.
		Logística.
		Mantenimiento predictivo.
		Gestión del inventario.
		Control de calidad.
		Optimización de procesos.
		Gestión del inventario.
		Monitoreo de producción.
Cadena de suministro sostenible	Aquella que incorpora prácticas éticas y ambientalmente responsables en todas sus fases [1], [3].	Optimización de rutas de transporte.
		Logística.
		Gestión del inventario.
		Optimización de la demanda.
Cadena de suministro de productos perecederos	Administración de los insumos que pueden deteriorarse, como alimentos, flores y plantas frescas, que requieren un manejo especial para su transporte y conservación [3].	Optimización de rutas de transporte.
		Logística.
Cadena de suministro digitales	Conjunto de procesos interconectados que se basan en la ejecución de tecnologías digitales para mejorar las cadenas de suministro tradicionales [3], [12], [13], [14], [15], [16].	Optimización de procesos.
		Optimización de rutas de transporte.
		Logística.
		Atención/Servicio al cliente.
		Predicción para mejorar la toma de decisiones.
		Gestión del inventario.
Monitoreo de producción.		
Cadena de Suministro Sincronizada	Modelo que se destaca por la coordinación y la integración entre las partes involucradas en el proceso de fabricación y comercialización de un artículo [2], [17], [18], [19].	Gestión del inventario.
		Predicción para mejorar la toma de decisiones.
		Optimización de rutas de transporte.
		Optimización de

		procesos.
		Logística.
		Pronóstico de la demanda.
		Control de calidad.
		Atención/Servicio al cliente
		Monitoreo de producción.
Cadena de Suministro Compleja	Es un sistema que involucra múltiples etapas, proveedores, procesos de producción, canales de distribución y clientes [5], [11], [20].	Optimización de Stock Keeping Unit (SKU).
		Gestión del inventario.
		Logística.
		Monitoreo de producción.
		Optimización de la demanda.
Cadenas de suministro integradas	Modelo de colaboración entre proveedores, fabricantes y distribuidores para optimizar el proceso de diseño, fabricación y comercialización de un producto [21].	Optimización de rutas de transporte.
		Atención/Servicio al cliente
		Monitoreo de producción.
		Logística.
		Gestión del inventario.

B. ¿Cuáles son las aplicaciones de la inteligencia artificial en la cadena de suministro?

La IA se define como un conjunto de capacidades cognitivas e intelectuales expresadas por sistemas informáticos [20]. Su objetivo es emular funciones humanas, como la percepción, el aprendizaje y la interacción lingüística [10].

La IA puede clasificarse de diversas maneras: según su capacidad, funcionalidad y enfoque. Acto seguido, en la Tabla III se presenta una clasificación de los tipos de IA.

TABLA III
CLASIFICACIÓN Y TIPOS DE IA

Clasificación	Tipos	Descripción
Según la capacidad	Inteligencia Artificial Estrecha (ANI)	Son sistemas diseñados para ejecutar tareas específicas con alta eficiencia, como el reconocimiento de voz o sistemas de recomendación [2].
	Inteligencia Artificial Generativa (Gen-AI)	Tecnología que utiliza la inteligencia artificial (IA) para crear contenido nuevo, como imágenes, videos, audio, música y texto [22].

Según el enfoque y funcionalidad	Aprendizaje Automático (Machine Learning)	Un subcampo de la IA que se focaliza en el desarrollo de algoritmos que permiten a las máquinas aprender de los datos y mejorar con el tiempo [1], [2], [3], [4], [8], [9], [10], [14], [15], [18], [19], [20], [21], [22].
	Aprendizaje Profundo (Deep Learning)	Un sistema dentro del aprendizaje automático que utiliza redes neuronales profundas para procesar grandes volúmenes de datos [1], [8], [9], [10], [18], [19].
	Redes Neuronales	Modelos computacionales inspirados en el cerebro humano, empleados en diversas aplicaciones de IA, incluyendo aprendizaje automático y profundo [4], [14], [21].
	Redes Neuronales Artificiales (ANN)	Estructuras que emulan el comportamiento de las neuronas biológicas y son fundamentales en el aprendizaje profundo [2], [3].
	Modelos Predictivos	Algoritmos que utilizan datos históricos para predecir resultados futuros, comúnmente usados en análisis de datos [4].
	Procesamiento del Lenguaje Natural (NLP)	Un área de la IA que permite a las máquinas entender y generar lenguaje humano [3], [8], [9], [20].
	Redes Neuronales Convolucionales Profundas (DCNN)	Modelo de aprendizaje profundo diseñado para identificar patrones y características complejas en datos visuales [19].
Según la técnica utilizada	IA basada en reglas	Sistemas que utilizan reglas explícitas para tomar decisiones o resolver problemas, típicos en sistemas expertos [12], [17].
	K-means y DBSCAN	Algoritmos de agrupamiento utilizados en el aprendizaje no supervisado para clasificar datos sin etiquetas [4].
Otras categorías relevantes	Optimización por algoritmos genéticos (PSO)	Técnicas inspiradas en la evolución natural para resolver problemas complejos mediante la selección y combinación de soluciones [1], [19].
	IA cognitiva	Sistemas diseñados para simular procesos humanos como el pensamiento y la comprensión, permitiendo interacciones más naturales con los usuarios [12], [17].
	Robótica y Automatización	Integración de IA en robots para realizar tareas físicas automatizadas, desde manufactura hasta atención médica [8], [9], [14], [15].
	Tecnología Blockchain (BCT)	Aunque no es un tipo directo de IA, su integración con IA permite mejorar la seguridad y eficiencia en transacciones digitales [11].
	Internet of Things (IoT)	La interconexión entre dispositivos físicos que pueden recopilar y compartir datos, a menudo potenciados por algoritmos de IA para análisis y toma de decisiones [11], [13].

Aplicaciones específicas	Chat GPT	Un modelo específico dentro del ámbito del procesamiento del lenguaje natural, diseñado para relacionarse con los usuarios mediante texto natural [22].
--------------------------	----------	---

Teniendo esta información, se procede a contestar la pregunta sobre las aplicaciones de la IA en SCM, se organizó la respuesta basándose en la información recopilada de los estudios revisados. Ahora bien, en la Tabla IV se presenta las aplicaciones de la IA en SCM encontradas en los artículos

TABLA IV
APLICACIONES DE LA IA

Aplicaciones de la IA	Descripción	Referencias
Pronóstico de Demanda	La IA se emplea para renovar la precisión en la predicción de la demanda, lo que capacita a las empresas para adelantarse a las exigencias del mercado y adaptar su producción y logística de forma acorde. Esto disminuye gastos vinculados con el excedente o insuficiencia de inventario.	[3], [9], [11], [20], [22]
Gestión de Inventarios	Las herramientas de IA potencian la administración del inventario, garantizando que los niveles sean óptimos para cubrir la demanda sin generar gastos superfluos. Esto implica el uso de técnicas avanzadas, como el análisis predictivo, para determinar el momento exacto en el que se deben reponer los productos.	[1], [4], [5], [20]
Optimización de Rutas	La IA colabora en optimizar las rutas de transporte, provocando una disminución importante en los costos logísticos y los tiempos de entrega. Esto es vital para aumentar la eficiencia en las operaciones y la felicidad de los clientes.	[2], [13], [14]
Mantenimiento Predictivo	Esta aplicación posibilita anticipar posibles fallos en equipos y maquinaria, lo cual contribuye a reducir los tiempos de inactividad no planificados y a perfeccionar la continuidad en las operaciones. La IA se dedica a analizar datos históricos y las condiciones actuales con el fin de prever posibles problemas antes de que sucedan.	[9], [17], [19]

Análisis en Tiempo Real	La habilidad de realizar análisis en tiempo real permite a las compañías responder ágilmente ante cambios en el entorno operativo o en la demanda del mercado. Esto mejora la agilidad y la capacidad de respuesta ante imprevistos.	[1], [9], [10], [13], [19]
Automatización de Procesos	La automatización impulsada por IA disminuye el tiempo dedicado a tareas manuales, lo cual mejora la eficiencia general y permite que los empleados se enfoquen en actividades más estratégicas.	[8], [10], [18], [19]

El análisis de las aplicaciones de IA en SCM se refleja en la Figura 2 que revela un impacto significativo en diversas áreas operativas. El pronóstico de demanda se destaca como la aplicación más influyente, contribuyendo con un 25% al rendimiento general, lo que permite a las empresas anticipar las necesidades del mercado y optimizar su producción [8], [9]. La gestión de inventarios sigue de cerca, con un 20% de impacto, garantizando niveles óptimos que minimizan costos y mejoran la eficiencia operativa [1], [4]. La optimización de rutas y el mantenimiento predictivo aportan cada uno un 15%, facilitando la reducción de costos logísticos y la minimización de tiempos de inactividad no planificados, respectivamente [13], [17], [19]. El análisis en tiempo real también juega un papel crucial, concediendo a las empresas adecuarse rápidamente a cambios inesperados en el entorno operativo [1], [13], [19], mientras que la automatización de procesos, aunque con un impacto del 10%, mejora la eficiencia al soltar a los empleados para que se concentren en actividades más estratégicas [19].

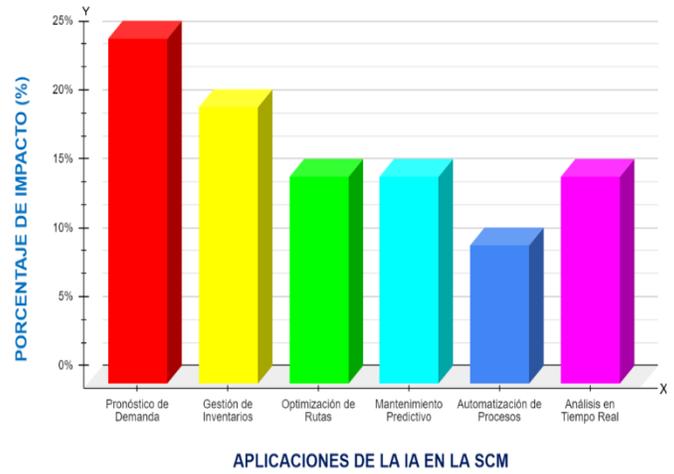


Fig.2 Gráfico de barras del porcentaje de impacto de las aplicaciones de la IA en la cadena de suministro.

De acuerdo a los datos obtenidos, se procedió a desarrollar un gráfico donde se visualiza los tipos de IA en relación a que aplicaciones han sido utilizadas. Ver Figura 3.

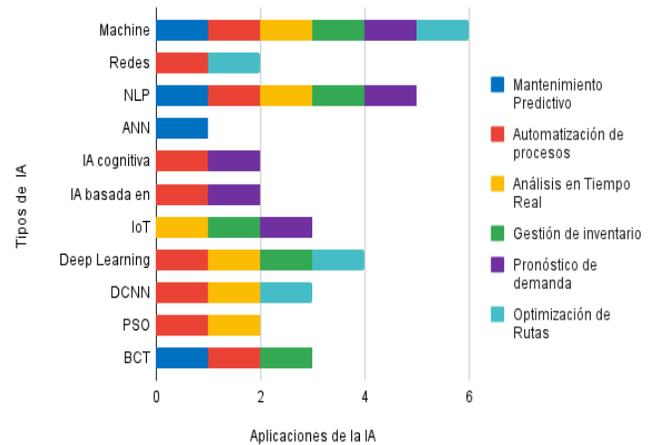


Fig.3 Gráfico de barras en relación al Tipos de IA y el número de aplicaciones utilizadas.

C. ¿Cuáles son los indicadores de eficiencia operativa que se pueden mejorar mediante la IA?

Esta pregunta requiere saber cómo la IA en los procedimientos operativos de una corporación tiene el potencial de transformar la eficiencia en áreas clave, mejorando la precisión, reduciendo tiempos y costos, y optimizando recursos dentro de una cadena de suministro [16], [21].

A continuación, en la Tabla V se detallan indicadores de eficiencia operativa encontrados los artículos analizados, que pueden beneficiarse significativamente mediante la implementación de IA, acompañados de su definición y datos de mejora tras la adopción de estas tecnologías.

TABLA V
INDICADORES DE EFICIENCIA OPERATIVA MEJORADAS POR LA IA

Indicador	Definición	Mejora con IA
Precisión en pronóstico de demanda	Capacidad para prever con exactitud la demanda futura, ajustando producción e inventario para satisfacer necesidades.	Aumento de precisión de un 15-20%
Productividad del almacén	Medida de la eficiencia en la gestión del almacén, generalmente evaluada por la cantidad de tareas completadas por hora.	Incremento en un 20%
Costos logísticos	Gastos asociados al transporte y distribución de productos, impactados por la optimización de rutas y capacidad de carga.	Reducción del 10%
Tasa de entrega a tiempo	Proporción de entregas que cumplen con los plazos definidos, asegurando la satisfacción del cliente.	Mejora al 95%
Tiempo de ciclo de producción	Duración total del proceso de producción, desde el inicio hasta la entrega final, afectado por la eficiencia de procesos.	Disminución del 12.5%
Costos operativos	Total de costos asociados a la operación, incluyendo gastos de mano de obra, mantenimiento y otros insumos.	Disminución del 15%
Tasa de rotación de inventario	Frecuencia con la cual el inventario se vende y se repone en un tiempo determinado, optimizando el uso de capital.	Optimización en un 15%

La implementación de Inteligencia Artificial (IA) en los procesos operativos de la cadena de suministro representa un avance estratégico fundamental para la eficiencia y sostenibilidad de las organizaciones. Los indicadores de eficiencia operativa mejorados mediante IA, como la precisión en pronóstico de demanda, productividad en el almacén, reducción de costos logísticos y tiempo de ciclo de producción, reflejan cómo estas tecnologías permiten una optimización integral en áreas clave [2], [8], [16], [17].

Al optimizar estos aspectos, las organizaciones logran no solo una mayor rentabilidad, sino también una sostenibilidad operativa que beneficia a toda la cadena de valor, desde el proveedor hasta el cliente final. La aplicación de IA en la cadena de suministro fomenta un modelo operativo más flexible, eficiente y escalable, capaz de responder a las demandas actuales y futuras del mercado de manera resiliente. El uso de IA no solo transforma los procesos de manera eficiente, sino que también posiciona a las empresas. En una ventaja competitiva que es crucial en el contexto de una economía digital en constante evolución [12], [13].

D. ¿En qué empresas industriales se ha aplicado la IA?

Para responder a esta interrogante, primero se identificó el país de origen de cada documento estudiado, la información

seleccionada proviene de diversos rincones del mundo. En la Figura 4, se puede visualizar los territorios estudiados tales como Turquía, Suiza, India, Francia, Brasil, Alemania, Arabia Saudita, Egipto, Australia, China, Jordania y Corea del Sur.

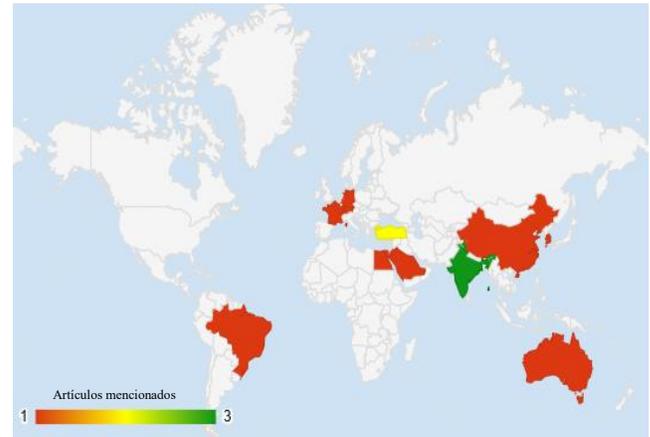


Fig. 4 Mapa geográfico de los estudios de implementación de la IA en la SCM (2020-2024)

Cabe recalcar, que no todos los artículos cuentan con un país de origen especificado [1], [4], [8], [9], [19], mientras que otros documentos cuentan con origen internacional, con contribuciones de diversas regiones, aunque no se especifica un país en particular [11], [21].

Teniendo en cuenta estos datos, se recopiló los tipos de empresas industriales que decidieron poner en marcha la IA en su SCM, de acuerdo a la cantidad de artículos examinados; además de mencionar el año de implementación de la IA en cada industria. Ver Tabla VI.

TABLA VI
TIPOS DE EMPRESAS INDUSTRIALES EN RESPECTO AL AÑO DE IMPLEMENTACIÓN DE LA IA

Industria	Área	Año de Implementación	Referencia
Energía	Energías Renovables	no se proporciona una fecha específica	[1]
Manufactura	Producción	2015	[3]
		2020	[20], [22]
		2018	[12]
		2010	[21]
Logística	Transporte y Almacenamiento	no se proporciona una fecha específica	[1]
		2018	[4]
Salud	Servicios de Salud	2018	[17]
		2010	[2]
Farmacéutico		2015	[15]

	Producción y Distribución	hace varios años	[14]
Alimentación	Producción	no se proporciona una fecha específica	[1]
		2010	[11], [19]
Variados	Variados	2015	[2]
Comercio Minorista	Comercio	hace 3 y 5 años según el estudio	[13]
		en las últimas dos décadas	[8]
Metalurgia	Producción	2015	[5]
Automotriz, Electrónica	Producción	2018	[10]
Construcción	Infraestructura	no se proporciona una fecha específica	[1]
Electrónica	Producción	no se proporciona una fecha específica	[9]

Metodologías y Desafíos en la Implementación de IA en Cadenas de Suministro

El análisis de los estudios revisados revela que la mejora de la eficiencia operativa mediante inteligencia artificial (IA) no solo depende de los impactos obtenidos, sino también de las metodologías utilizadas para su implementación y de la capacidad de las organizaciones para enfrentar diversos desafíos.

Entre las metodologías de implementación observadas, destacan el uso de técnicas de aprendizaje supervisado, como redes neuronales artificiales, para el pronóstico de la demanda y la gestión de inventarios. Asimismo, la aplicación de Deep Learning ha permitido desarrollar sistemas de mantenimiento predictivo más precisos. Por otra parte, la integración de tecnologías IoT combinadas con IA ha fortalecido el monitoreo en tiempo real de operaciones logísticas, facilitando la toma de decisiones basada en datos inmediatos.

No obstante, la implementación efectiva de estas tecnologías enfrenta varios desafíos críticos. Uno de los principales es la necesidad de contar con grandes volúmenes de datos históricos de alta calidad para entrenar adecuadamente los modelos de IA. Adicionalmente, las empresas deben superar barreras internas, como la resistencia cultural al cambio tecnológico y la falta de habilidades digitales en el personal. Otro desafío importante es el costo inicial elevado asociado a la adquisición de infraestructura tecnológica y la integración de IA en sistemas legados. A esto se suman preocupaciones relacionadas con la seguridad de los datos y la protección de la privacidad, especialmente en entornos industriales altamente regulados.

Estos factores evidencian que el mejoramiento de la eficiencia operativa mediante IA no solo depende de la implementación de tecnologías avanzadas, sino también de la capacidad organizativa para gestionar el cambio, desarrollar estrategias de adopción progresiva, y establecer políticas de gobernanza de datos robustas. Por tanto, un enfoque integral que combine innovación tecnológica con gestión del cambio es clave para lograr impactos sostenibles y efectivos en la cadena de suministro.

IV. DISCUSIÓN

En este estudio de revisión, los tipos de cadenas de suministro en diferentes rubros revela la complejidad y diversidad de los sistemas de gestión que permiten a las empresas operar eficientemente en un entorno competitivo. Cada uno está diseñado para satisfacer requisitos específicos según el modelo de negocio y el sector industrial. La implementación de IA varía según el tipo de cadena; por ejemplo, las cadenas digitales integran tecnologías avanzadas que mejoran la conectividad y la eficiencia [3], [11], [12]. Según [4], la implementación de la IA en la SCM ha revolucionado las operaciones empresariales, mejorando significativamente la eficiencia y la capacidad de respuesta ante las dinámicas del mercado. En este contexto, se enfatiza que una cadena de suministro sincronizada que utiliza IA, puede coordinar mejor las operaciones entre proveedores y clientes, lo que resulta en una mayor agilidad [4], [9]. Asimismo, es fundamental destacar que la flexibilidad y adaptabilidad se consideran cruciales en las SCM modernas, reflejándose en la diversidad de modelos utilizados. Por lo tanto, es importante señalar que la elección del tipo de SCM está íntimamente relacionada con los objetivos estratégicos de cada empresa [15], [18].

Así como SCM tienen tipos y cada uno es implementado en un rubro distintos, lo mismo pasa con la IA; cada una diferente según su funcionalidad, enfoque y capacidad. Los hallazgos indican que Machine Learning es la IA más utilizada actualmente a diferencia Deep Learning. De acuerdo con [10], Deep Learning tiene capacidades avanzadas para manejar tareas complejas y grandes volúmenes de datos, mientras que Machine Learning sigue siendo más utilizado debido a su accesibilidad, rapidez en la implementación y eficacia en una variedad más amplia de aplicaciones. Esto no quiere decir que se menosprecia a los demás tipos de IA, al contrario, se utilizan cada uno en una aplicación distinta que va en línea con los objetivos estratégicos de la empresa.

Entre las aplicaciones más relevantes de la IA en SCM se encuentra el pronóstico de demanda, que permite a las empresas anticiparse a las necesidades del mercado y ajustar su producción y logística. De este modo, esta mejora en la precisión de las predicciones resulta en una reducción de costos vinculados con el exceso o escasez de inventario, aumentando así la eficiencia operativa [1], [3]. Por otro lado, la gestión de inventarios se optimiza mediante herramientas de IA que aseguran que los niveles sean adecuados para satisfacer la

demanda sin incurrir en gastos innecesarios; esto se logra mediante técnicas avanzadas como el análisis predictivo, que determina el momento óptimo para reabastecer productos [4], [5].

Asimismo, la IA contribuye a optimizar las rutas de transporte, lo que reduce significativamente los costos logísticos y los tiempos de entrega. En este sentido, esta optimización es crucial para mejorar la eficiencia operativa y aumentar la satisfacción del cliente. A su vez, el mantenimiento predictivo representa otra área donde la IA marca una diferencia significativa; permite anticipar fallos en equipos y maquinaria, minimizando así los tiempos de inactividad no planificados. A través del análisis de datos históricos y condiciones actuales, la IA puede prever problemas antes de que ocurran, mejorando, por ende, la continuidad operativa. Además, la capacidad para realizar análisis en tiempo real permite a las empresas ajustarse rápidamente a cambios en el entorno operativo o en la demanda del mercado [5], [9], [22]. Esto mejora su agilidad y capacidad de respuesta ante imprevistos. Por último, la automatización de procesos impulsada por IA también juega un papel fundamental al reducir el tiempo dedicado a tareas manuales. Esto no solo mejora la eficiencia general, sino que también libera a los empleados para que se concentren en actividades más estratégicas. En conjunto, estas aplicaciones demuestran cómo la IA está revolucionando el ámbito SCM al mejorar no solo la eficiencia operativa, sino también al proporcionar una ventaja competitiva esencial en un entorno empresarial cada vez más digitalizado y dinámico [15], [22].

Los indicadores de eficiencia operativa que pueden beneficiarse significativamente mediante la implementación de IA incluyen aspectos clave como la precisión en el pronóstico de demanda, que puede aumentar entre un 15% y un 20%, y la productividad del almacén, que puede incrementarse en un 20%. Además, los costos logísticos pueden reducirse en un 10%, mientras que la tasa de entrega a tiempo puede mejorar hasta alcanzar un 95%. Otros indicadores como el tiempo de ciclo de producción y los costos operativos también muestran mejoras significativas tras la adopción de tecnologías basadas en IA [3], [15], [18].

La revisión identificó múltiples empresas industriales que han implementado tecnologías basadas en IA dentro de sus cadenas de suministro, abarcando diversas regiones geográficas como Turquía, Suiza, India y Brasil. Estas implementaciones varían según el contexto industrial y los objetivos específicos de cada empresa. Los estudios revisados muestran un patrón similar al descrito por [1], quienes señalan que las empresas líderes están adoptando tecnologías avanzadas para mejorar su competitividad. Comparando los casos documentados resaltan cómo estas implementaciones pueden servir como modelos para otras organizaciones dentro del sector industrial, más que todo en el área de producción [3], [8], [10], [11], [19].

Para futuras investigaciones, se sugiere realizar estudios longitudinales que evalúen el impacto a largo plazo de la IA en SCM, investigar más a fondo las barreras para una adopción

efectiva y ampliar el enfoque geográfico para incluir más regiones y sectores industriales. Estas sugerencias pueden contribuir a un mejor entendimiento del papel crítico que juega la IA en la evolución continua de SCM.

V. CONCLUSIONES

Esta investigación se centra en cómo la aplicación de la IA mejora la eficiencia operativa de SCM en las empresas industriales. A partir de los resultados obtenidos, se puede concluir que la implementación de IA tiene un impacto significativo en diversas áreas operativas, lo que permite a las empresas optimizar sus procesos y anticipar las necesidades del mercado. En particular, el pronóstico de demanda se destaca como la aplicación más influyente, contribuyendo con un 25% al rendimiento general, seguido por la gestión de inventarios, que aporta un 20%. Estas aplicaciones son clave para garantizar niveles óptimos de inventario y minimizar costos, lo que se traduce en una mejora notable en la eficiencia operativa.

Además, se ha evidenciado que otras aplicaciones de IA, como la optimización de rutas y el mantenimiento predictivo, aportan cada una un 15% a la eficiencia operativa. Estas aplicaciones no solo facilitan la reducción de costos logísticos, sino que también minimizan los tiempos de inactividad no planificados, lo que es crucial para mantener la continuidad operativa en un entorno empresarial dinámico. El análisis en tiempo real y la automatización de procesos, aunque con un impacto del 10%, también contribuyen a liberar recursos humanos para actividades más estratégicas, lo que refuerza aún más la eficiencia organizacional.

La investigación contribuye significativamente a la literatura existente sobre SCM al proporcionar un análisis detallado de cómo las tecnologías de IA pueden transformar los procesos operativos dentro de las cadenas de suministro. Al identificar y clasificar las aplicaciones específicas de IA utilizadas en diferentes sectores industriales, este estudio no solo amplía el conocimiento sobre su implementación práctica, sino que también establece las bases para futuras investigaciones en este ámbito. La diversidad geográfica de los estudios revisados resalta un interés global por integrar soluciones basadas en IA en SCM, lo que sugiere un cambio hacia modelos operativos más eficientes y sostenibles.

En resumen, los resultados obtenidos confirman que la inteligencia artificial es fundamental para optimizar las cadenas de suministro en el contexto actual. Su implementación no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también posiciona a las organizaciones para enfrentar los desafíos futuros en un entorno económico cada vez más digitalizado. Adicionalmente, se identificaron desafíos metodológicos y organizativos que deben ser gestionados para maximizar el impacto de la IA en las cadenas de suministro. La investigación destaca así el papel transformador de la IA en SCM y su relevancia para el desarrollo sostenible y eficiente de las empresas industriales.

REFERENCIAS

- [1] Liu, K.-S., Lin, M.-H. "Performance assessment on the application of artificial intelligence to sustainable supply chain management in the construction material industry" (2021) *Sustainability (Switzerland)*, 13 (22), art. no. 12767, . Cited 21 times. DOI: 10.3390/su132212767
- [2] Abbas, K., Afaq, M., Khan, T.A., Song, W.-C. "A blockchain and machine learning-based drug supply chain management and recommendation system for smart pharmaceutical industry" (2020) *Electronics (Switzerland)*, 9 (5), art. no. 852, . Cited 185 times. DOI: 10.3390/electronics9050852
- [3] Zhuang, X., Yu, Y., Chen, A. "A combined forecasting method for intermittent demand using the automotive aftermarket data" (2022) *Data Science and Management*, 5 (2), pp. 43-56. Cited 19 times. DOI: 10.1016/j.dsm.2022.04.001
- [4] Nasereddin, A.Y. "A comprehensive survey of contemporary supply chain management practices in charting the digital age revolution" (2024) *Uncertain Supply Chain Management*, 12 (2), pp. 1331-1352. Cited 2 times. DOI: 10.52677/j.uscm.2023.11.004
- [5] Wakle, S.P., Toshniwal, V.P., Jain, R., Soni, G., Ramtiyal, B. "A Data-driven Approach for Planning Stock Keeping Unit (SKU) in a Steel Supply Chain" (2024) *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences*, 9 (2), pp. 283-304. DOI: 10.33889/IJMEMS.2024.9.2.015
- [6] C. M. da C. Santos, C. A. de M. Pimenta and M. R. C. Nobre, "The PICO strategy for the research question construction and evidence search", *Rev. Latino-Am. Enfermagem*, vol. 15, no. 3, pp. 508–511, Jun. 2007, doi: 10.1590/S0104-11692007000300023. M. King and B. Zhu, "Gaming strategies," in *Path Planning to the West*, vol. II, S. Tang and M. King, Eds. Xian: Jiaoda Press, 1998, pp. 158-176.
- [7] Page, M. J.; McKenzie, J. E.; Bossuyt, P. M.; Boutron, I.; Hoffmann, T. C.; Mulrow, C. D.; Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic The *BMJ*, 372 doi:10.1136/bmj.n71
- [8] Alomar, M.A. "Performance Optimization of Industrial Supply Chain Using Artificial Intelligence" (2022) *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, art. no. 9306265, . Cited 6 times. DOI: 10.1155/2022/9306265
- [9] Dumitrascu, O., Dumitrascu, M., Dobrotă, D. "Performance evaluation for a sustainable supply chain management system in the automotive industry using artificial intelligence" (2020) *Processes*, 8 (11), art. no. 1384, pp. 1-20. Cited 49 times. DOI: 10.3390/pr8111384
- [10] Haleem, A., Javaid, M., Singh, R.P., Suman, R., Khan, S. "Management 4.0: Concept, applications and advancements" (2023) *Sustainable Operations and Computers*, 4, pp. 10-21. Cited 20 times. DOI: 10.1016/j.susoc.2022.10.002
- [11] Adamashvili, N., Zhizhilashvili, N., Tricase, C. "The Integration of the Internet of Things, Artificial Intelligence, and Blockchain Technology for Advancing the Wine Supply Chain" (2024) *Computers*, 13 (3), art. no. 72, . Cited 3 times. DOI: 10.3390/computers13030072
- [12] Khalifa, N., Abd Elghany, M., Abd Elghany, M. "Exploratory research on digitalization transformation practices within supply chain management context in developing countries specifically Egypt in the MENA region" (2021) *Cogent Business and Management*, 8 (1), art. no. 1965459, . Cited 24 times. DOI: 10.1080/23311975.2021.1965459
- [13] De Vass, T., Shee, H., Miah, S.J. "IoT in supply chain management: Opportunities and challenges for businesses in early industry 4.0 context" (2021) *Operations and Supply Chain Management*, 14 (2), pp. 148-161. Cited 75 times. DOI: 10.31387/oscm0450293
- [14] Kim, H.K., Lee, C.W. "Relationships among healthcare digitalization, social capital, and supply chain performance in the healthcare manufacturing industry" (2021) *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18 (4), art. no. 1417, pp.1-13. Cited 52 times. DOI: 10.3390/ijerph18041417
- [15] Sharabati, A.-A.A., Awawdeh, H.Z., Sabra, S., Shehadeh, H.K., Allahham, M., Ali, A. "The role of artificial intelligence on digital supply chain in industrial companies mediating effect of operational efficiency" (2024) *Uncertain Supply Chain Management*, 12 (3), pp. 1867-1878. Cited 5 times. DOI: 10.52677/j.uscm.2024.2.016
- [16] Jain, V., Tewary, T., Gopalakrishnan, B.N. "Unlocking technology adoption for a robust food supply chain: Evidence from Indian food processing sector" (2021) *HSE Economic Journal*, 25 (1), pp. 147-164. Cited 11 times. DOI: 10.17323/1813-8691-2021-25-1-147-164
- [17] Deveci, M. "Effective use of artificial intelligence in healthcare supply chain resilience using fuzzy decision-making model" (2023) *Soft Computing*, Cited 11 times. DOI: 10.1007/s00500-023-08906-2
- [18] Shen, J., Bu, F., Ye, Z., Zhang, M., Ma, Q., Yan, J., Huang, T. "Management of drug supply chain information based on "artificial intelligence + vendor managed inventory" in China: perspective based on a case study" (2024) *Frontiers in Pharmacology*, 15, art. no. 1373642. DOI: 10.3389/fphar.2024.1373642
- [19] Amani, M.A., Sarkodie, S.A. "Mitigating spread of contamination in meat supply chain management using deep learning" (2022) *Scientific Reports*, 12 (1), art. no. 5037, . Cited 29 times. DOI: 10.1038/s41598-022-08993-5
- [20] Althaqafi, T. "Enhancing Supply Chain Management: Leveraging Machine Learning and Software Engineering for Reliable and Efficient Applications" (2024) *Pakistan Journal of Life and Social Sciences*, 22 (2), pp. 5192-5209. DOI: 10.57239/PJLSS-2024-22.1.00382
- [21] Wang, D., Yu, A. "Supply Chain resources and economic Security Based on Artificial Intelligence and Blockchain Multi-Channel Technology" (2023) *International Journal of Information Technologies and Systems Approach*, 16 (3), . Cited 1 time. DOI: 10.4018/IJITSA.322385
- [22] Fosso Wamba, S., Guthrie, C., Queiroz, M.M., Minner, S. "ChatGPT and generative artificial intelligence: an exploratory study of key benefits and challenges in operations and supply chain management" (2024) *International Journal of Production Research*, 62 (16), pp. 5676-5696. Cited 14 times. DOI: 10.1080/00207543.2023.2294116