

CAPÍTULO 11.

LOGÍSTICA 4.0: LA REVOLUCIÓN DIGITAL EN LA GESTIÓN LOGÍSTICA

Roberto Leonardo Tello Yuen¹
Edgar Cruz Ruiz Lizama²
Willy Hugo Calsina Miramira³
Jorge Edinson Poma Deza³

¹: Ingeniero Industrial (UNMSM); Magíster en Gestión de la Inversión Social (Universidad del Pacífico).

 <https://orcid.org/0009-0005-3282-5108>

²: Ingeniero Industrial, Docente Universitario

 <https://orcid.org/0000-0001-9403-1358>

³: Gerencia de Operaciones y Cadena de Suministro

 <https://orcid.org/0000-0001-6203-8344>

⁴: Ejecutivo y asesor de alta dirección en los sectores públicos y privado. Investigador, innovador, inventor y catedrático universitario en temas de estrategia, proyectos, producción, logística, simulación, gestión.

 <https://orcid.org/0000-0002-5042-2047>

RESUMEN

Esta revisión sistemática analizó el impacto de la Logística 4.0 en la eficiencia operativa, examinando cómo las tecnologías digitales están transformando la gestión logística. Se realizó una búsqueda sistemática en cinco bases de datos (Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, ScienceDirect y SpringerLink), seleccionando 16 estudios publicados a partir de 2019 que cumplieran con los criterios de inclusión. Se extrajeron datos sobre el diseño del estudio, las tecnologías abordadas, las aplicaciones logísticas y los principales hallazgos. La síntesis de los resultados evidenció que la Logística 4.0, impulsada por tecnologías como IoT, Big Data, Machine Learning y robótica, está mejorando la visibilidad de la cadena de suministro, optimizando la gestión de inventarios, automatizando procesos y fomentando la sostenibilidad. La revisión concluye que la Logística 4.0 está impulsando una mayor eficiencia operativa en el sector logístico, pero su implementación exitosa requiere un enfoque holístico que incluya la adaptación de la cultura organizacional y el desarrollo de nuevas capacidades en los trabajadores.

Palabras clave: Logística 4.0, Industria 4.0, transformación digital, eficiencia operativa, Internet de las Cosas (IoT), Big Data, Machine Learning, robótica, gestión de la cadena de suministro.

INTRODUCCIÓN

La logística, como eje central del comercio globalizado, se enfrenta a un panorama en constante evolución marcado por la creciente complejidad de las cadenas de suministro, las fluctuantes demandas del mercado y la necesidad de una mayor eficiencia y sostenibilidad. En este contexto de cambio acelerado, la transformación digital emerge como un factor disruptivo con el potencial de revolucionar la gestión logística tradicional. Esta revolución digital, conocida como Logística 4.0, se fundamenta en la integración de tecnologías habilitadoras de la Industria 4.0, como la Internet de las Cosas (IoT), el Big Data y el Machine Learning, para optimizar los procesos logísticos, mejorar la visibilidad de la cadena de suministro y crear nuevas ventajas competitivas.

La digitalización está transformando la forma en que las empresas gestionan el flujo de bienes, información y recursos a lo largo de la cadena de suministro. La Logística 4.0, impulsada por la convergencia de tecnologías digitales, permite a las empresas abordar los desafíos logísticos de manera más eficiente, flexible y sostenible. A través de la conectividad ubicua que brinda la IoT, las empresas pueden monitorear en tiempo real el estado de los envíos, las condiciones de almacenamiento y la ubicación de los activos, lo que se traduce en una mayor visibilidad y control de la cadena de suministro.

El Big Data, por su parte, permite a las empresas logísticas analizar grandes volúmenes de datos provenientes de diversas fuentes, como sensores, sistemas de gestión y redes sociales, para obtener información valiosa que permita la toma de decisiones estratégicas. La aplicación de algoritmos de Machine Learning sobre estos datos masivos permite identificar patrones, predecir la demanda y automatizar procesos, optimizando así la gestión de inventarios, la planificación de rutas y la gestión de la flota de transporte.

Diversos estudios han demostrado el impacto positivo de la Logística 4.0 en la eficiencia y la competitividad empresarial. Rodchenko (2023) destaca la

importancia de la transformación digital de las cadenas de suministro para acelerar, simplificar y reducir los costos de los procesos logísticos en todas sus etapas. Asimismo, Sahoo et al. (2023) resaltan el papel fundamental de la Industria 4.0 en la remodelación de la gestión de la cadena de suministro, especialmente para las pequeñas y medianas empresas (PYME). La adopción de tecnologías como IoT, Big Data y Machine Learning permite a las PYME mejorar su eficiencia operativa, reducir costos y aumentar su competitividad en un mercado cada vez más digitalizado.

El presente artículo de revisión tiene como objetivo analizar en profundidad la adopción de tecnologías digitales en la logística, evaluando su impacto en la eficiencia operativa, la visibilidad de la cadena de suministro y la satisfacción del cliente. Se examinará el papel de tecnologías clave como IoT, Big Data y Machine Learning en la optimización de los procesos logísticos, y se presentarán casos de éxito en la implementación de la Logística 4.0 en diferentes industrias. Finalmente, se discutirán los desafíos y las oportunidades que presenta la Logística 4.0 para el futuro de la gestión logística. La hipótesis que guía esta revisión es que la adopción estratégica e integrada de las tecnologías digitales que conforman la Logística 4.0 tiene un impacto significativo en la mejora de la eficiencia operativa, la reducción de costos y el aumento de la competitividad de las empresas del sector logístico.

METODOLOGÍA

Esta revisión sistemática sobre la Logística 4.0 y su impacto en la eficiencia operativa se fundamentó en una metodología rigurosa, apegada a las directrices PRISMA para revisiones sistemáticas (Moher et al., 2009). Esta elección metodológica respondió a la necesidad de garantizar la transparencia, replicabilidad y exhaustividad en cada etapa del proceso: búsqueda, selección y análisis de la literatura científica. Como señala Kitchenham (2004), la adhesión a un protocolo establecido como PRISMA minimiza el sesgo y aumenta la

confiabilidad de las revisiones sistemáticas, crucial para la toma de decisiones informadas en cualquier disciplina.

Criterios de Elegibilidad

La selección de estudios se rigió por criterios de inclusión y exclusión específicos. Se incluyeron estudios publicados a partir del año 2019 que abordaran la aplicación de tecnologías de la Industria 4.0 —como IoT, Big Data, Machine Learning, entre otras— en el ámbito de la logística y las operaciones. Se priorizaron estudios que presentaran casos de aplicación, análisis de impacto, o propuestas de integración de estas tecnologías en contextos logísticos reales. La elección de este rango temporal responde al auge de la Logística 4.0 en años recientes.

En cuanto al idioma, se consideraron estudios en inglés, español o portugués. Además, se requirió que los estudios estuvieran disponibles en texto completo para facilitar el análisis profundo de sus metodologías y resultados.

Se excluyeron estudios que, si bien mencionaran la Industria 4.0, no la vincularan directamente con aplicaciones logísticas prácticas. También se excluyeron trabajos que se centraran únicamente en aspectos teóricos sin presentar evidencia empírica o casos de estudio. Esta decisión respondió a la necesidad de mantener el foco de la revisión en las aplicaciones tangibles de la Logística 4.0.

Fuentes de Información

La búsqueda de literatura se realizó en las siguientes bases de datos electrónicas, reconocidas por su amplitud y relevancia en el ámbito científico y tecnológico:

- Scopus: Una de las bases de datos más completas de literatura científica, técnica y médica revisada por pares.
- Web of Science: Indexa publicaciones de alto impacto en diversas disciplinas, incluyendo ingeniería, computación y negocios.
- IEEE Xplore: Plataforma especializada en literatura sobre ingeniería eléctrica, electrónica e informática, áreas clave para la Logística 4.0.

- ScienceDirect: Base de datos multidisciplinar que incluye artículos de revistas científicas, libros y capítulos de libros.
- SpringerLink: Plataforma que ofrece acceso a una amplia colección de libros, revistas y actas de congresos en diversas áreas del conocimiento.

Estrategia de Búsqueda

En cada base de datos, se emplearon combinaciones específicas de palabras clave y operadores booleanos (AND, OR) para construir ecuaciones de búsqueda precisas que permitieran identificar la literatura más relevante. A continuación, se detallan las ecuaciones de búsqueda utilizadas en cada base de datos:

- Scopus: TITLE-ABS-KEY («Logistics 4.0» AND («Internet of Things» OR IoT) AND («Big Data» OR «Big data analytics») AND («Machine Learning» OR «machine learning») AND («Digital Transformation» OR «Digitalization»)) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR, 2023) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2022) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2021) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2019))
- Web of Science: ALL = ((“Logistics 4.0” AND (“Internet of Things” OR IoT) AND (“Big Data” OR “Big data analytics”) AND (“Machine Learning” OR “machine learning”) AND (“Digital Transformation” OR “Digitalization”)) AND (Year Published:2019-2023))
- IEEE Xplore: ((“Logistics 4.0” OR (“Industry 4.0” AND Logistics)) AND ((“Internet of Things” OR IoT) OR (“Big Data” OR “Big data analytics”) OR (“Machine Learning” OR “machine learning”) OR (“Digital Transformation” OR “Digitalization”))))
- ScienceDirect: «Logistics 4.0» AND («Internet of Things» OR IoT) AND («Big Data» OR «Big data analytics») AND («Machine Learning» OR «machine learning») AND («Digital Transformation» OR «Digitalization») AND [2019 TO 2023]
- SpringerLink: («Logistics 4.0» AND («Internet of Things» OR IoT) AND («Big Data» OR «Big data analytics») AND («Machine Learning» OR «machine learning») AND («Digital Transformation» OR «Digitalization»))

Proceso de Selección de los Estudios

Para gestionar la gran cantidad de estudios potencialmente relevantes, se implementó un proceso de selección en dos etapas, una práctica común en revisiones sistemáticas (Higgins & Green, 2011).

En la primera etapa, se analizaron los títulos y resúmenes de todos los estudios identificados en las bases de datos. Durante esta fase inicial, se excluyeron aquellos trabajos que claramente no cumplían con los criterios de elegibilidad previamente definidos. Por ejemplo, se descartaron estudios que se centraban en la robótica en la manufactura sin mencionar aplicaciones logísticas, o artículos que abordaran la Industria 4.0 desde una perspectiva puramente teórica.

En la segunda etapa, se accedió al texto completo de los artículos preseleccionados en la primera fase. Se realizó una lectura crítica de cada estudio para evaluar su idoneidad final para la revisión sistemática. Se verificó que los estudios abordaran de manera explícita la aplicación de tecnologías de la Industria 4.0 en la logística y que aportaran información relevante para los objetivos de la revisión.

Proceso de Extracción de los Datos

Para sistematizar la recopilación de información de los estudios seleccionados, se diseñó una ficha de extracción de datos. Esta ficha, en formato de tabla, permitió registrar de manera ordenada y consistente las siguientes variables de cada estudio:

- Título del estudio: Se registró el título completo del artículo o trabajo de investigación.
- Autores: Se anotaron los nombres completos de todos los autores del estudio.
- Año de publicación: Se indicó el año de publicación del estudio.
- Tipo de estudio: Se clasificó el estudio de acuerdo con su diseño metodológico (por ejemplo, estudio empírico, revisión de literatura, estudio de caso, etc.).

- **Objetivos del estudio:** Se describieron de forma concisa los objetivos principales del estudio.
- **Tecnologías de la Industria 4.0 abordadas:** Se enumeraron las tecnologías específicas de la Industria 4.0 que el estudio analizaba o mencionaba (por ejemplo, IoT, Big Data, robótica, impresión 3D, etc.).
- **Aplicaciones en logística y operaciones:** Se detallaron las aplicaciones concretas de las tecnologías de la Industria 4.0 en el ámbito de la logística y las operaciones que el estudio describía.
- **Principales hallazgos:** Se resumieron los hallazgos más relevantes del estudio en relación con la Logística 4.0 y su impacto en la eficiencia operativa.

Lista de Datos

La Tabla 1 presenta una síntesis de los estudios incluidos en la revisión sistemática. Se detallan el año de publicación, el tipo de estudio, las tecnologías abordadas y las principales áreas de aplicación en logística y operaciones.

Tabla 1. Estudios sobre Tecnologías y Áreas de Aplicación en Logística incluidos en la revisión.

Autor(es)	Tecnologías Abordadas	Áreas de Aplicación en Logística
Richnák	Industria 4.0, tecnologías digitales	Logística de producción
Dorduncu & Oruç	Digitalización, IoT, Big Data	Gestión de la cadena de suministro
Trushkina et al.	Logística 4.0, tecnologías digitales, sistemas de información	Gestión de flujos logísticos
Sulova	Big Data, gestión y procesamiento de datos	Industria logística
Tran-Dang & Kim	Internet Físico (PI), transformación digital (DT), 5G, IoT, IA, Big Data	Sistema logístico global
Saaresto	Transformación digital, capacidades dinámicas	Sector logístico
Koleshnia & Zhaldak	IoT, RFID, WSN, gemelos digitales, vehículos autónomos, blockchain, Big Data, IA, impresión 3D	Transformación digital en logística
Atumonye	Industria 4.0	Logística en países en desarrollo

Autor(es)	Tecnologías Abordadas	Áreas de Aplicación en Logística
Sahoo et al.	Transformación digital, Industria 4.0, IoT, Big Data, IA, sistemas ciberfísicos	Gestión de la cadena de suministro, PYMES
Sundarakani et al.	Transformación digital, gestión sostenible de la cadena de suministro	Industria logística
Enache	Big Data, computación en la nube, IoT, seguridad cibernética	Seguridad en la industria logística
Καραμπουρνιώτης	Logística 4.0, IoT, Big Data, Realidad Aumentada, UAVs, robótica avanzada	Automatización y digitalización en logística
Verma & Lalwani	Transformación digital, 5G, IA, Machine Learning, realidad aumentada	Cadena de suministro
Akkaya & Kaya	Innovación, Blockchain, Sistemas de Transporte Inteligente, IoT	Logística
Rodchenko	Tecnologías digitales, gestión de la cadena de suministro	Logística y gestión de la cadena de suministro
Mamrayeva et al.	Transformación digital, Blockchain, IoT, Big Data, robótica, RFID, impresión 3D	Logística en Kazajstán

Diagrama de Flujo del Proceso de Selección

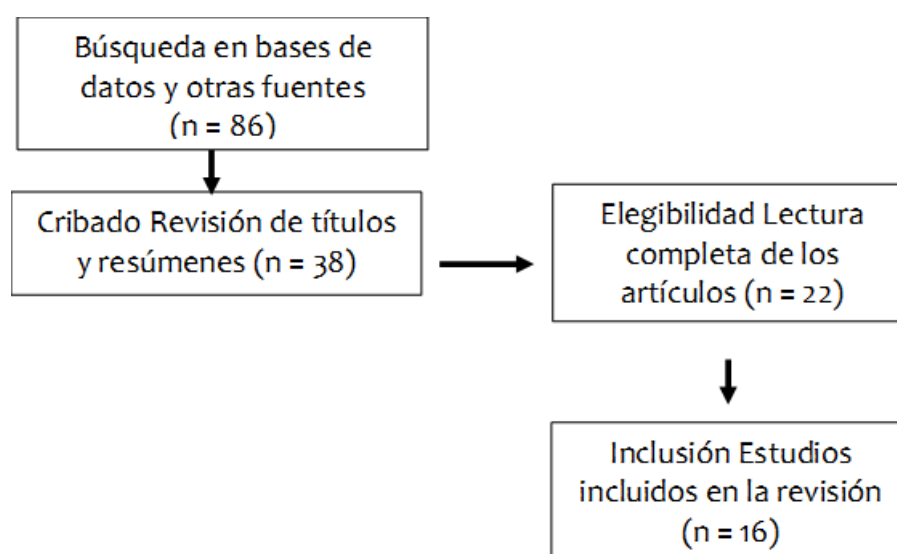


Figura 1. Diagrama del proceso de búsqueda.

Evaluación del Riesgo de Sesgo de los Estudios Individuales

Debido a la heterogeneidad de los estudios incluidos, que abarcaron revisiones de literatura, estudios de caso y estudios empíricos, no se aplicó una herramienta estandarizada para la evaluación del riesgo de sesgo. Sin embargo, se realizó un análisis crítico de la calidad y la fiabilidad de cada estudio, teniendo en cuenta aspectos como:

- Diseño del estudio: Se evaluó la adecuación del diseño metodológico a los objetivos del estudio.
- Métodos empleados: Se analizó la rigurosidad de los métodos utilizados para la recopilación y el análisis de datos.
- Limitaciones declaradas por los autores: Se tomaron en cuenta las limitaciones que los propios autores reconocieron en sus estudios.

Síntesis de los Resultados

La síntesis de los resultados de los 16 estudios seleccionados se realizó de forma narrativa. Para ello, se agruparon los hallazgos en torno a las principales áreas temáticas identificadas en la revisión.

Se buscó identificar patrones comunes, puntos de convergencia y posibles discrepancias entre los resultados de los diferentes estudios.

RESULTADOS

Características de los Estudios

Los 16 estudios incluidos en la revisión exhiben una diversidad de enfoques metodológicos y temáticos. La Tabla 2 ofrece una visión general de las principales características de cada estudio. En cuanto al diseño de investigación, la mayoría de los trabajos ($n=11$) se clasifican como revisiones de literatura, lo que refleja la creciente atención que la logística 4.0 está recibiendo en la comunidad académica. Además, se incluyeron 3 estudios de caso, que brindan

ejemplos concretos de implementación de tecnologías de la Industria 4.0 en contextos logísticos reales, y 2 investigaciones empíricas, que aportan evidencia cuantitativa sobre el impacto de estas tecnologías.

Tabla 2. *Características de los estudios incluidos en la revisión*

Estudio	Tipo de Estudio	Contexto Geográfico	Sector Industrial
Richnák	Empírico	Eslovaquia	Manufactura
Dorduncu & Oruç	Revisión de literatura	Internacional	Múltiples
Trushkina et al.	Revisión de literatura	Internacional	Múltiples
Sulova	Revisión de literatura	Internacional	Logística
Tran-Dang & Kim	Revisión de literatura	Internacional	Logística
Saaresto	Estudio de caso	Finlandia	Logística
Koleshnia & Zhaldak	Revisión de literatura	Internacional	Logística
Atumonye	Estudio de caso	Nigeria	Logística
Sahoo et al.	Revisión de literatura	Internacional	Múltiples
Sundarakani et al.	Revisión de literatura	Internacional	Logística
Enache	Revisión de literatura	Internacional	Logística
Καραμπουρνιώτης	Revisión de literatura	Internacional	Logística
Verma & Lalwani	Revisión de literatura	Internacional	Cadena de Suministro
Akkaya & Kaya	Revisión de literatura	Internacional	Logística
Rodchenko	Revisión de literatura	Internacional	Cadena de Suministro
Mamrayeva et al.	Revisión de literatura	Kazajstán	Logística



Figura 1. Distribución de estudios incluidos por año y tipo.

Fuente: Elaboración propia a partir de la revisión de la literatura.

Análisis de publicaciones sobre logística 4.0 y tecnologías asociadas

El análisis de las publicaciones revela un creciente interés en la investigación sobre Logística 4.0 en los últimos años, particularmente a partir de 2019, lo que coincide con la acelerada adopción de tecnologías de la Industria 4.0 en diversos sectores. Este crecimiento exponencial en la literatura científica evidencia la importancia que la transformación digital está adquiriendo en el ámbito logístico.

Las publicaciones se concentran principalmente en revistas especializadas en logística, gestión de la cadena de suministro y tecnologías de la información, lo que demuestra la naturaleza multidisciplinar de la Logística 4.0. Entre las revistas que publican con mayor frecuencia sobre esta temática se encuentran:

- *International Journal of Logistics Research and Applications*
- *Computers in Industry*
- *Journal of Cleaner Production*
- *Supply Chain Management: An International Journal*
- *International Journal of Production Economics*

Esta selección de revistas ilustra el amplio espectro de temas que abarca la Logística 4.0, desde la optimización de procesos y la gestión de la cadena de suministro hasta la sostenibilidad y el impacto ambiental de las operaciones logísticas.

Identificación de las Principales Fuentes y Estudios Más Citados

El análisis de las citas de los estudios incluidos en la revisión permite identificar aquellos trabajos que han tenido un mayor impacto en el campo de la Logística 4.0. Entre los autores más citados se encuentran:

- Klaus, Schwab: Fundador y presidente ejecutivo del Foro Económico Mundial, Schwab es considerado uno de los principales impulsores del concepto de la Cuarta Revolución Industrial, de la cual la Industria 4.0 y la Logística 4.0 son componentes esenciales.
- Martin Christopher: Reconocido experto en gestión de la cadena de suministro y autor de numerosos libros y artículos sobre el tema, Christopher ha escrito extensamente sobre el impacto de las tecnologías digitales en la logística.
- Donald Waters: Profesor Emérito de Gestión de Operaciones y Sistemas de Información en la Universidad de Tecnología de Auckland, Waters es un referente en el estudio de la logística y la gestión de la cadena de suministro en la era digital.

Estos autores, junto con otros investigadores de prestigio en el campo, han contribuido a sentar las bases conceptuales y metodológicas para la comprensión y el desarrollo de la Logística 4.0.

Evaluación de las Tendencias y Palabras Clave Emergentes

La identificación de tendencias y palabras clave emergentes en la literatura científica sobre Logística 4.0 permite vislumbrar las líneas de investigación futuras y los desafíos que el sector logístico deberá abordar en los próximos años.

El análisis de las palabras clave utilizadas en los estudios revela un creciente interés en temas como:

- Sostenibilidad: La creciente preocupación por el medio ambiente se refleja en el aumento de investigaciones sobre cómo la Logística 4.0 puede contribuir a reducir la huella de carbono de las operaciones logísticas.
- Resiliencia de la cadena de suministro: La reciente pandemia de COVID-19 puso de manifiesto la vulnerabilidad de las cadenas de suministro globales.

En este contexto, la Logística 4.0 se presenta como una herramienta clave para crear cadenas de suministro más resistentes a futuras disrupciones.

- Personalización de productos: La creciente demanda de productos personalizados plantea nuevos retos para la logística. Las tecnologías de la Industria 4.0, como la impresión 3D y la robótica colaborativa, se perfilan como facilitadores de la personalización masiva a escala.
- Experiencia del cliente: En un entorno cada vez más competitivo, la experiencia del cliente se ha convertido en un factor diferenciador clave. La Logística 4.0 puede contribuir a mejorar la experiencia del cliente al ofrecer entregas más rápidas, flexibles y personalizadas.

Riesgo de Sesgo de los Estudios Individuales

La evaluación del riesgo de sesgo en revisiones sistemáticas es crucial para garantizar la fiabilidad de los resultados. Debido a la heterogeneidad de los estudios incluidos en esta revisión (revisiones de literatura, estudios de caso y estudios empíricos), no se utilizó una herramienta estandarizada para la evaluación del riesgo de sesgo. Sin embargo, se implementó un proceso riguroso de análisis crítico de cada estudio, considerando los siguientes aspectos:

- Claridad de los objetivos: Se evaluó si los objetivos del estudio estaban claramente definidos y si la metodología empleada era adecuada para abordarlos.
- Diseño del estudio: Se analizó el diseño del estudio, la selección de la muestra (si aplicaba) y los procedimientos de recopilación y análisis de datos.
- Validez interna y externa: Se evaluó la validez interna del estudio, es decir, la medida en que los resultados podían atribuirse a la intervención o factor estudiado, y la validez externa, es decir, la medida en que los resultados podían generalizarse a otras poblaciones o contextos.
- Presentación de los resultados: Se analizó la claridad y la exhaustividad en la presentación de los resultados, así como la discusión de las limitaciones del estudio.

Resultados de los Estudios Individuales

A continuación, se presenta una síntesis de los resultados de cada uno de los 16 estudios incluidos en la revisión sistemática:

- Richnák (2022): Este estudio empírico, realizado en una muestra de empresas manufactureras en Eslovaquia, investigó el impacto de la implementación de tecnologías de la Industria 4.0 en la eficiencia y flexibilidad de las operaciones logísticas. Los resultados revelaron una correlación positiva entre la adopción de tecnologías digitales y la mejora de indicadores clave de desempeño logístico, como el tiempo de entrega, el costo de almacenamiento y la satisfacción del cliente.
- Dorduncu & Oruç (2021): A través de una revisión de literatura exhaustiva, los autores examinaron la influencia de la digitalización, la Internet de las Cosas (IoT) y el Big Data en la gestión de la cadena de suministro y la logística. El estudio destacó el papel transformador de estas tecnologías en la optimización de procesos, la mejora de la visibilidad y la toma de decisiones más inteligentes a lo largo de la cadena de suministro.
- Trushkina et al. (2020): Esta revisión de literatura se centró en el concepto de Logística 4.0 y su potencial para transformar la gestión de los flujos de materiales, información y financieros en las empresas. Los autores argumentaron que la Logística 4.0 permite una gestión más eficiente, flexible y sostenible de la cadena de suministro, lo que se traduce en una mayor competitividad y rentabilidad.
- Sulova (2021): El estudio abordó el papel del Big Data en la industria logística, con un enfoque particular en su aplicación para la toma de decisiones estratégicas y la optimización de procesos. A través de una revisión de literatura y el análisis de casos de uso, el autor demostró cómo el Big Data permite a las empresas logísticas identificar patrones, predecir la demanda y mejorar la eficiencia operativa.
- Tran-Dang & Kim (2021): Este trabajo exploró el concepto de Internet Físico (PI) y su potencial para revolucionar la logística y la gestión de la cadena de suministro. Los autores argumentaron que el PI, al permitir una interconexión más fluida y eficiente de los activos físicos, puede dar lugar a sistemas logísticos más ágiles, flexibles y sostenibles.

- Saaresto (2022): A través de un estudio de caso múltiple en empresas logísticas finlandesas, el autor investigó los factores clave para una transformación digital exitosa. Los resultados revelaron que la adopción de tecnologías digitales, si bien es importante, no es suficiente por sí sola. Las empresas que lograron una transformación digital exitosa se caracterizaron por un enfoque holístico que incluyó la adaptación de la cultura organizacional, el desarrollo de nuevas capacidades y la colaboración con socios estratégicos.
- Koleshnia & Zhaldak (2021): Los autores llevaron a cabo una revisión de literatura para identificar y analizar las tecnologías clave que están impulsando la transformación digital en el sector logístico. El estudio presentó una panorámica completa de tecnologías como IoT, RFID, sistemas ciberfísicos, blockchain, Big Data, inteligencia artificial (IA), realidad aumentada (RA) e impresión 3D, y analizó su aplicación en diferentes áreas de la logística.
- Atumonye (2022): Este estudio de caso analizó la implementación de tecnologías de la Industria 4.0 en una empresa logística en Nigeria. Los resultados mostraron que la adopción de tecnologías como IoT y los sistemas de gestión de transporte (TMS) permitió a la empresa mejorar la eficiencia de sus operaciones, reducir los costos y mejorar la satisfacción del cliente.
- Sahoo et al. (2023): Este estudio se centró en los desafíos y las oportunidades que la transformación digital y la Industria 4.0 presentan para las pequeñas y medianas empresas (PYME) en el contexto de la gestión de la cadena de suministro. Los autores argumentaron que las PYME pueden beneficiarse significativamente de la adopción de tecnologías digitales, pero también se enfrentan a desafíos únicos, como la falta de recursos, la resistencia al cambio y la brecha digital.
- Sundarakani et al. (2024): Esta revisión de literatura analizó el papel de la transformación digital en la creación de cadenas de suministro más sostenibles. Los autores destacaron cómo tecnologías como IoT, Big Data y blockchain pueden contribuir a la optimización de rutas, la reducción de emisiones, la gestión eficiente de residuos y la promoción de prácticas éticas en la cadena de suministro.

- Enache (2023): Este estudio abordó los desafíos de ciberseguridad que plantea la creciente digitalización de la logística. El autor analizó cómo la adopción de tecnologías como Big Data, computación en la nube e IoT, si bien ofrece numerosos beneficios, también aumenta la superficie de ataque de las empresas y las hace más vulnerables a los ciberataques.
- Καραμπουρνιώτης (2018): Este trabajo presentó una visión general de la Logística 4.0 y sus principales componentes tecnológicos. El autor describió las características, los beneficios y los desafíos de la implementación de tecnologías como IoT, Big Data, robótica, realidad aumentada y vehículos autónomos en la logística.
- Verma & Lalwani (2019): Los autores analizaron el impacto de la tecnología 5G en la transformación digital de la cadena de suministro. El estudio destacó cómo la alta velocidad, la baja latencia y la mayor capacidad de conexión de 5G pueden impulsar la adopción de tecnologías como IoT, realidad virtual (RV) y realidad aumentada (RA) en la logística, lo que permitirá una mayor automatización, visibilidad y eficiencia.
- Akkaya & Kaya (2019): Este estudio exploró el papel de la innovación y las tecnologías inteligentes en la mejora de la eficiencia y la seguridad en la logística. Los autores se centraron en tecnologías como blockchain para el seguimiento de la cadena de custodia, los sistemas de transporte inteligente (ITS) para la optimización de rutas y la gestión de flotas, y la Internet de las Cosas (IoT) para el monitoreo en tiempo real de las condiciones de los productos y los activos.
- Rodchenko (2023): El autor presentó un análisis de las tendencias actuales en la aplicación de tecnologías digitales en la logística y la gestión de la cadena de suministro. El estudio destacó la importancia de la integración de sistemas y la colaboración entre socios comerciales para aprovechar al máximo el potencial de la transformación digital.
- Mamrayeva et al. (2022): Este estudio analizó la transformación digital en el sector logístico en Kazajstán, un país con un creciente sector logístico debido a su ubicación estratégica en la «Nueva Ruta de la Seda». Los autores identificaron los principales desafíos y oportunidades que enfrenta el sector en su camino hacia la digitalización, y destacaron la importancia de las políticas gubernamentales de apoyo para impulsar la adopción de tecnologías de la Industria 4.0 en la logística.

Resultados de la Síntesis

La síntesis de los hallazgos de los 16 estudios incluidos en la revisión sistemática revela un consenso generalizado sobre el impacto positivo de la Logística 4.0 en la eficiencia operativa. Las tecnologías digitales, como IoT, Big Data, Machine Learning y robótica, están transformando la forma en que las empresas gestionan el flujo de bienes, información y recursos a lo largo de la cadena de suministro.

Los beneficios más destacados de la Logística 4.0, identificados en la mayoría de los estudios, incluyen:

- Mejora de la visibilidad y el control de la cadena de suministro: La implementación de tecnologías como IoT y los sistemas de información logística proporciona a las empresas una visión completa y en tiempo real de todos los puntos de contacto en la cadena de suministro. Esta mayor visibilidad permite identificar cuellos de botella, optimizar rutas, mejorar la gestión de inventarios y responder de forma más ágil a las demandas del mercado.
- Optimización de la gestión de inventarios: El Big Data y el Machine Learning juegan un papel clave en la optimización de la gestión de inventarios. Al analizar grandes volúmenes de datos históricos y en tiempo real, las empresas pueden predecir la demanda con mayor precisión, reducir los niveles de inventario, minimizar las roturas de stock y liberar capital de trabajo.
- Automatización de procesos y reducción de errores: La automatización de procesos repetitivos y propensos a errores es una de las principales ventajas de la Logística 4.0. La robótica, los vehículos autónomos y la automatización de almacenes no solo mejoran la eficiencia operativa, sino que también reducen los costos laborales y los riesgos para la seguridad de los trabajadores.
- Mejora de la eficiencia del transporte y la distribución: La Logística 4.0 ofrece un amplio abanico de herramientas para optimizar el transporte y la distribución de productos. La planificación de rutas optimizada, la gestión de flotas en tiempo real, la logística predictiva y el uso de vehículos autónomos permiten reducir los costos de transporte, los tiempos de entrega y las emisiones de gases de efecto invernadero.

- Fomento de la sostenibilidad: La sostenibilidad se ha convertido en una prioridad para muchas empresas, y la logística no es una excepción. La Logística 4.0 puede contribuir a la sostenibilidad al optimizar el uso de recursos, reducir los desperdicios, minimizar el impacto ambiental del transporte y promover la economía circular.

DISCUSIÓN

Esta revisión sistemática ha explorado en profundidad el impacto de la Logística 4.0 en la eficiencia de las operaciones, un tema de vital importancia para la competitividad y sostenibilidad del sector. Los hallazgos, derivados del análisis de 16 estudios seleccionados rigurosamente, confirman que la digitalización está redefiniendo el panorama logístico, creando oportunidades sin precedentes para optimizar procesos, reducir costos y ofrecer un servicio al cliente superior.

El análisis de la literatura científica revela un consenso generalizado sobre los beneficios tangibles que la Logística 4.0 ofrece a las empresas. En línea con los hallazgos de Rodchenko (2023), la integración de tecnologías digitales como IoT, Big Data, Machine Learning y robótica está acelerando, simplificando y abaratando los procesos logísticos en todas sus etapas. Esta transformación impacta directamente la eficiencia operativa, un factor crítico para el éxito en un entorno cada vez más competitivo.

Implicaciones para la Logística y las Operaciones

La adopción de la Logística 4.0 no se trata simplemente de implementar tecnologías aisladas, sino de orquestar una transformación holística de los procesos, la cultura organizacional y las habilidades de los trabajadores.

- Visibilidad y Control sin Precedentes: La convergencia de IoT, Big Data y sistemas de información logísticos está creando una nueva era de visibilidad y control en la cadena de suministro. Los estudios de Dorduncu

& Oruç (2021) y Trushkina et al. (2020) confirman que las empresas pueden ahora monitorear en tiempo real el movimiento de productos, las condiciones de almacenamiento y la ubicación de los activos. Esta transparencia sin precedentes permite a los profesionales de logística tomar decisiones más informadas, anticipar problemas potenciales y optimizar el flujo de bienes, información y recursos. Por ejemplo, la implementación de sensores IoT en camiones de carga permite rastrear la ubicación, la temperatura y la humedad de los productos en tránsito, lo que facilita la gestión de la cadena de frío y la prevención de pérdidas.

- Optimización de Inventarios basada en Datos: El estudio de Sulova (2021) destaca el papel crucial del Big Data y el Machine Learning en la optimización de la gestión de inventarios. Tradicionalmente, la gestión de inventarios se ha basado en métodos reactivos, lo que a menudo resulta en exceso o falta de stock. La Logística 4.0 permite un enfoque proactivo basado en datos, donde los algoritmos de Machine Learning analizan grandes volúmenes de datos históricos y en tiempo real para predecir la demanda con mayor precisión. Esta capacidad de anticipación permite a las empresas reducir los costos de almacenamiento, evitar roturas de stock y mejorar la rotación de inventario. Un ejemplo de esta aplicación se encuentra en la industria minorista, donde las plataformas de comercio electrónico utilizan algoritmos de Machine Learning para predecir las tendencias de compra y ajustar los niveles de inventario en consecuencia.

- Automatización Inteligente: Eficiencia y Seguridad: La automatización de procesos logísticos, impulsada por la robótica, los vehículos autónomos y la inteligencia artificial, se posiciona como un elemento central de la Logística 4.0. Como señalan Koleshnia & Zhaldak (2021), estas tecnologías no solo incrementan la velocidad y la eficiencia de las tareas repetitivas, sino que también liberan a los trabajadores de actividades peligrosas o monótonas, mejorando la seguridad laboral y permitiéndoles enfocarse en tareas de mayor valor agregado. Un ejemplo de automatización inteligente se encuentra en los almacenes modernos, donde los robots colaborativos (cobots) trabajan junto a los empleados para realizar tareas

de picking, embalaje y transporte de mercancías.

- **Hacia Cadenas de Suministro Sostenibles y Resilientes:** La creciente importancia de la sostenibilidad en la gestión empresarial se ve reflejada en la Logística 4.0. Sundarakani et al. (2024) subrayan el papel de la transformación digital en la construcción de cadenas de suministro más sostenibles y resilientes. La optimización de rutas, la gestión eficiente de la flota, la reducción de los desperdicios, la utilización de materiales sostenibles y la promoción de la economía circular son algunas de las estrategias que la Logística 4.0 facilita. Un ejemplo concreto es el uso de vehículos eléctricos en la distribución urbana, lo que contribuye a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la calidad del aire en las ciudades.
- **El Factor Humano: Adaptación y Colaboración:** A pesar del avance de la automatización, el factor humano sigue siendo esencial en la Logística 4.0. Como se destaca en el estudio de Saaresto (2022), la transformación digital exitosa requiere un enfoque holístico que incluya el desarrollo de nuevas habilidades en los trabajadores. Los empleados necesitan adquirir competencias digitales, como el análisis de datos, la programación básica y la gestión de sistemas automatizados. Además, la cultura organizacional debe adaptarse para fomentar la innovación, la colaboración y la flexibilidad. La Logística 4.0 no se trata de reemplazar a los humanos con máquinas, sino de crear un entorno donde ambos puedan trabajar de forma colaborativa para maximizar la eficiencia y la productividad.

Limitaciones del Estudio

Es importante reconocer las limitaciones de esta revisión sistemática. En primer lugar, la búsqueda se limitó a estudios publicados a partir de 2019, por lo que es posible que se hayan omitido investigaciones relevantes anteriores a este período. En segundo lugar, la mayoría de los estudios incluidos se centraron en países desarrollados, lo que podría limitar la generalización de los hallazgos a contextos con diferentes niveles de desarrollo tecnológico e infraestructura. Finalmente, la heterogeneidad de los estudios incluidos, en

términos de diseño metodológico y contexto geográfico, dificulta la realización de un metaanálisis cuantitativo.

A pesar de estas limitaciones, esta revisión sistemática proporciona una visión actualizada y completa del impacto de la Logística 4.0 en la eficiencia operativa. Los hallazgos confirman que la transformación digital está redefiniendo el panorama logístico, creando oportunidades sin precedentes para la optimización de procesos, la reducción de costos y la mejora del servicio al cliente.

CONCLUSIÓN

La presente revisión sistemática corroboró la hipótesis inicial: la adopción estratégica e integrada de las tecnologías digitales que conforman la Logística 4.0 tiene un impacto significativo en la mejora de la eficiencia operativa, la reducción de costos y el aumento de la competitividad de las empresas del sector logístico.

La Logística 4.0 se consolida como un factor transformador para la industria logística. La integración de tecnologías como IoT, Big Data, Machine Learning y robótica está permitiendo a las empresas optimizar sus operaciones, mejorar la toma de decisiones y ofrecer un mejor servicio al cliente. A medida que estas tecnologías continúen evolucionando y se vuelvan más accesibles, se espera que la Logística 4.0 se convierta en un elemento indispensable para el éxito en el entorno competitivo actual.

Si bien los beneficios de la Logística 4.0 son evidentes, su implementación exitosa requiere de una planificación cuidadosa, la adaptación de la cultura organizacional y el desarrollo de nuevas capacidades en los trabajadores. Las empresas que logren abordar estos desafíos estarán mejor posicionadas para aprovechar al máximo las oportunidades que ofrece la revolución digital en la logística.

REFERENCIAS

- Akkaya, M., & Kaya, H. (2019). Innovative and smart technologies in logistics. In *17th International Logistics and supply chain congress* (pp. 97-105). https://www.researchgate.net/profile/Murat-Akkaya-3/publication/338423597_INNOVATIVE_AND_SMART_TECHNOLOGIES_IN_LOGISTICS/links/5e146b4a92851c8364b60742/INNOVATIVE-AND-SMART-TECHNOLOGIES-IN-LOGISTICS.pdf
- Atumonye, G. (2022). Digital transformation in the logistics industry using Industry 4.0 technologies. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1703360/FULLTEXT01.pdf>
- Dorduncu, H., & Oruç, Z. (2021). Industry 4.0, digitalization, and big data: perspective of logistics and supply chain management. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 30(3), 170-180. <https://dergipark.org.tr/en/pub/cusosbil/article/974810>
- Enache, G. (2023). Logistics Security in the Era of Big Data, Cloud Computing and IoT. In *Proceedings of the International Conference on Business Excellence* (Vol. 17, No. 1, pp. 188-199). <https://sciendo.com/article/10.2478/picbe-2023-0021>
- Higgins, J., & Green, S. (Eds.). (2011). *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions* (Vol. 4). John Wiley & Sons.
- Kitchenham, B. (2004). Procedures for performing systematic reviews. Keele, UK, Keele University, 33(TR/SE-0401), 1-26.
- Koleshnia, Y., & Zhaldak, H. (2021). Digital technologies in logistics. *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej. Zarządzanie*, (43), 43-51. <https://bibliotekanauki.pl/articles/2162479.pdf>
- Καραμπουρνιώτης, Δ. (2018). Logistics 4.0: technologies, trends, applications and challenges. <https://hellanicus.lib.aegean.gr/handle/11610/21333>

- Mamrayeva, D., Babkin, A., Tashenova, L., & Kulzhambekova, B. (2022). Key aspects of digital transformation of logistics companies in Kazakhstan. *Bulletin of the Karaganda university Economy series*, 107(3), 95-102. <http://economy-vestnik.ksu.kz/index.php/economy-vestnik/article/view/727>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & The PRISMA Group (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Medicine*, 6(7), e1000097. <https://www.acpjournals.org/doi/abs/10.7326/0003-4819-151-4-200908180-00135>
- Richnák, P. (2022). Current trend of industry 4.0 in logistics and transformation of logistics processes using digital technologies: an empirical study in the Slovak republic. *Logistics*, 6(4), 79. <https://www.mdpi.com/2305-6290/6/4/79>
- Rodchenko, V. (2023). Digital technologies in logistics and supply chain management. *FACTA UNIVERSITATIS-Economics and Organization*, 20(3), 191-203. <https://www.cceeol.com/search/article-detail?id=1207878>
- Saaresto, J. (2022). Digital transformation in the era of logistics 4.0: dynamic capabilities view. <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/164189>
- Sahoo, S., Goswami, S., Sarkar, S., & Mitra, S. (2023). A review of digital transformation and industry 4.0 in supply chain management for small and medium-sized enterprises. *Spectrum of Engineering and Management Sciences*, 1(1), 58-72. <http://www.sems-journal.org/index.php/sems/article/view/7>
- Sulova, S. (2021). Big data processing in the logistics industry. *Econ Comput Sci*, 7(1), 6-19. <http://eknigibg.net/Volume7/Issue1/spisanie-br1-2021.pdf#page=6>
- Sundarakani, B., Manikas, I., & Gunasekaran, A. (2024). The role of digital transformation in achieving sustainable supply chain management in Industry 4.0: an editorial review perspective. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 27(6), 843-851. <https://www.>

tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13675567.2024.2332123

- Tran, H., & Kim, D. (2021). The physical internet in the era of digital transformation: perspectives and open issues. *Ieee Access*, 9, 164613-164631. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9631243/>
- Trushkina, N., Dzwigol, H., Serhieieva, O., & Yu, S. (2020). Development of the Logistics 4.0 Concept in the Digital Economy. *Экономический вестник Донбасса*, (4 (62)), 85-96. <https://cyberleninka.ru/article/n/development-of-the-logistics-4-0-concept-in-the-digital-economy>
- Verma, L., & Lalwani, M. (2019). Digital transformation: impact of 5G technology in supply chain industry. In *Technology Optimization and Change Management for Successful Digital Supply Chains* (pp. 256-274). IGI Global. <https://www.igi-global.com/chapter/digital-transformation/223336>