



Describir las principales aplicaciones y arquitecturas tecnológicas del IoT documentadas en la literatura para la gestión de la cadena de suministro global.

León Galarza, Sofía Elizabeth y Yanchaguano Shingon, Solange Yosbet

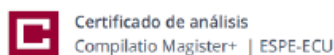
Departamento de Ciencias Económicas, Administrativas y de Comercio

Carrera de Comercio Exterior

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Licenciada en Comercio Exterior

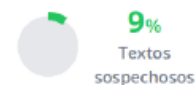
MSc. Machado Espinosa, Franco Agustín

30 de julio de 2026



Describir las principales aplicaciones y arquitecturas tecnológicas del IoT documentadas en la literatura para la gestión de la cadena de suministro global. FINAL

ID : 6ef6ea2627587d45e86706c5ad0710f67307df57



Nombre del fichero : Describir las principales aplicaciones y arquitecturas tecnológicas del IoT documentadas en la literatura para la gestión de la cadena de suministro global. FINAL.txt
Tamaño del archivo original : 425,11 kB
Número de palabras : 21.473

Depositante : FRANCO AGUSTIN MACHADO ESPINOSA
Fecha de depósito : 26 de julio de 2026
Tipo de carga : Interface
fecha de fin de análisis : 26 de julio de 2026

Resumen (sección 1/2)

Localización de los textos sospechosos en el documento :



Incluido en el porcentaje de textos sospechosos :

Similitudes 5%

Pasajes con similitudes a fuentes encontradas en diferentes colecciones.



Detección de IA 3%

Textos estilísticamente próximos a un texto generado por una IA.

Este índice es un indicador y no una prueba. Comprueba con el autor si domina los conocimientos mencionados en el documento.



Idiomas no reconocidos <1%

Pasajes en los que parte del vocabulario utilizado no forma parte del diccionario de la lengua.

Puede tratarse de un intento del autor de modificar el texto para evitar ser detectado.



MSc. Machado Espinosa, Franco Agustín

Director

C.C.: 1102805221



Departamento de Ciencias Económicas, Administrativas y de Comercio

Carrera de Comercio Exterior

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: **“Describir las principales aplicaciones y arquitecturas tecnológicas del IoT documentadas en la literatura para la gestión de la cadena de suministro global.”** fue realizado por las señoritas **León Galarza, Sofia Elizabeth** y **Yanchaguano Shingon, Solange Yosbet**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE; habiéndose efectuado una revisión integral de forma y de fondo conforme a los lineamientos y formatos institucionales vigentes. Además, fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.



Sangolquí, 30 de julio de 2026

MSc. Machado Espinosa, Franco Agustín

Director

C.C.: 1102805221



Departamento de Ciencias Económicas, Administrativas y de Comercio

Carrera de Comercio Exterior

Responsabilidad de Autoría

Nosotras, **León Galarza, Sofía Elizabeth y Yanchaguano Shingon, Solange Yosbet**, con cédulas de ciudadanía n°. 1753444544 y 1756004907, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **Describir las principales aplicaciones y arquitecturas tecnológicas del IoT documentadas en la literatura para la gestión de la cadena de suministro global**. Es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 30 de julio de 2026

León Galarza, Sofía Elizabeth

C.C.: 1753444544

Yanchaguano Shingon, Solange Yosbet

C.C.: 1756004907



Departamento de Ciencias Económicas, Administrativas y de Comercio

Carrera de Comercio Exterior

Autorización de Publicación

Nosotras **León Galarza, Sofía Elizabeth y Yanchaguano Shingon, Solange Yosbet**, con cédulas de ciudadanía n°. 1753444544 y 1756004907, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **Describir las principales aplicaciones y arquitecturas tecnológicas del IoT documentadas en la literatura para la gestión de la cadena de suministro global.** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 30 de julio de 2026

León Galarza, Sofía Elizabeth

C.C.: 1753444544

Yanchaguano Shingon, Solange Yosbet

C.C.: 1756004907

Dedicatoria

*Dedico este logro a la persona que cambió mi vida para siempre: mi hija, **Darla**.*

Hija mía, llegaste para enseñarme que el amor puede convertirse en la fuerza más grande que existe. Sin saberlo, cada uno de tus abrazos al final del día fueron el impulso que necesitaba para continuar cuando el cansancio parecía vencerme.

Si algún día lees estas palabras, espero que esta tesis te recuerde siempre que el conocimiento es el tesoro más valioso que una persona puede tener, porque nadie podrá arrebatártelo jamás.

*A mis padres, **Vilma Galarza y Fabián León**, quienes hicieron de mi educación el legado más valioso que podían dejarme. Gracias por sus bendiciones, por su amor, por sus oraciones y por esas manos desgastadas que trabajaron incansablemente. De ustedes aprendí que la verdadera riqueza no está en lo material, sino en el conocimiento, la fe, la honestidad, el respeto, la humildad y la perseverancia.*

A mi hermana menor, gracias por caminar a mi lado desde el primer día. Gracias por cada palabra de aliento, por escucharme cuando el cansancio me sobrepasaba y por recordarme que nunca estuve sola. Este logro también lleva un pedacito de ti y te lo dedico con todo mi amor y mi gratitud.

A una persona que fue parte importante de este sueño. Gracias por acompañarme durante este proceso, por las palabras de aliento cuando más las necesité y por cuidar de nuestra hija mientras yo perseguía esta meta. Hoy nuestros caminos son distintos, pero eso nunca cambiará la gratitud que siento por todo lo bueno que compartimos y por haber sido parte de esta historia.

Esta tesis lleva mi nombre, pero en cada una de sus páginas también está el amor de una hija que, sin comprenderlo aún, fue la autora de mi mayor fortaleza.

Agradecimiento

Gracias Dios, por ser mi guía y mi fortaleza en cada paso. Gracias por escuchar cada una de mis oraciones, por sostenerme y bendecirme en los momentos difíciles y por poner en mi camino personas extraordinarias que hicieron de este proceso una experiencia de aprendizaje, crecimiento y fe.

A mis padres, por creer siempre en mí y por haber sembrado desde mi infancia el amor por el estudio, el trabajo honesto y la perseverancia. Gracias por ser el ejemplo que ha guiado cada uno de mis pasos.

A mi querida Universidad, por ser mucho más que un lugar de aprendizaje. En sus aulas crecí como estudiante, como profesional y como persona, encontrando desafíos, oportunidades y personas que dejaron una huella invaluable en mi vida.

A las docentes que marcaron mi formación, Ing. Jessenia Sánchez, gracias por enseñarme que la excelencia profesional puede ir de la mano con la empatía, el respeto y la humildad. A la Ing. Belky Orbes, gracias por su exigencia, su pasión por enseñar y por motivarme siempre a dar lo mejor de mí, fortaleciendo mi convicción de haber elegido la profesión correcta.

A mi compañera de tesis, Solange, gracias por recorrer este camino a mi lado desde el día uno.

Gracias por escucharme cuando lo necesitaba, por cada palabra de ánimo, por las conversaciones que aligeraron el peso de los días difíciles. Este proceso fue mucho más llevadero porque tuve la fortuna de compartirlo contigo.

A mis amigas Zam, Mish, Anahí, gracias por cada momento compartido, por las risas, las largas jornadas de estudio, los nervios antes de los exámenes y el apoyo incondicional en los buenos y malos momentos. Más que compañeras, encontré personas que hicieron de esta etapa una de las más valiosas de mi vida

Sofía León, 2026.

Dedicatoria

Este proyecto de investigación está dedicado, en primer lugar, a Dios, por ser mi guía, mi refugio, mi fortaleza y mi compañero en cada etapa de este camino. Su amor y su presencia me sostuvieron en los momentos de incertidumbre, dándome la sabiduría, la esperanza y la fuerza necesarias para no rendirme y continuar hasta alcanzar esta meta.

A mis padres, con todo mi amor y gratitud, por el esfuerzo y sacrificio que realizan cada día para brindarme las mejores oportunidades, por acompañarme, guiarme y creer en mí, y, sobre todo, por darme la posibilidad de perseguir mis sueños. Este logro no me pertenece únicamente a mí, sino también a ellos, porque sin su amor, su apoyo incondicional y sus innumerables sacrificios, tanto este trabajo como mi formación universitaria habrían sido mucho más difíciles. Su ejemplo de perseverancia, dedicación y amor ha sido la inspiración que me ha impulsado a seguir adelante y alcanzar esta meta.

A mi hermano, por ser la persona que iluminó mi vida desde el día en que llegó, por brindarme los momentos más felices, por sostenerme en los más difíciles y por creer en mí incluso cuando yo misma dudaba de mis capacidades. Por enseñarme, con su ejemplo y su forma de ver la vida, el verdadero valor de la fortaleza, la esperanza y el amor incondicional.

Finalmente, dedico este logro a mis abuelitos, por su compañía durante este proceso, brindándome una palabra de aliento, una oportunidad para aprender o un gesto de apoyo. Cada uno ha dejado una huella invaluable en este camino y forma parte de este sueño hoy hecho realidad.

Solange Yanchaguano, 2026

Agradecimiento

Mi más profundo agradecimiento a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por abrirme sus puertas y brindarme la oportunidad de formarme profesional y personalmente. A cada uno de los docentes que formaron parte de mi proceso académico, por compartir sus conocimientos, experiencias y enseñanzas, pero también por dedicar tiempo a aconsejarnos y prepararnos no solo para el ejercicio profesional, sino también para la vida.

A mis compañeras, amigas y, muy pronto, colegas, Ana y Mich, por recorrer junto a mí estos semestres llenos de sueños, ilusiones, desafíos, noches de desvelo, risas y también momentos difíciles. Compartir este camino con ellas hizo que cada logro fuera más significativo.

Agradezco a una de las personas más increíbles que he conocido, a mi querida amiga Zam, pues nuestra amistad ha sido, sin duda, uno de los regalos más valiosos que me llevo de esta etapa universitaria. Te admiro profundamente y te agradezco por compartir conmigo esa luz que llevas dentro y que hace más felices a quienes tienen la fortuna de conocerte. Deseo que la vida nos siga regalando la oportunidad de celebrar más momentos juntas.

Finalmente, expreso un agradecimiento muy especial a mi compañera de tesis, Sofi. A lo largo de este proceso compartimos retos, aprendizajes y momentos de incertidumbre, pero también crecimos juntas. Su bondad, generosidad y la nobleza de su corazón la convierten en una persona excepcional. En más de una ocasión fue como una brújula que me orientó cuando sentía que había perdido el rumbo, enseñándome mucho más de lo que imagina.

Solange Yanchaguano, 2026

Índice de contenidos

Certificación.....	¡Error! Marcador no definido.
Responsabilidad de Autoría	¡Error! Marcador no definido.
Dedicatoria	6
Dedicatoria	8
Agradecimiento.....	9
Resumen	16
Abstract.....	17
Capítulo I	18
Introducción.....	18
Planteamiento del problema.....	19
Formulación del problema o pregunta de investigación	20
Preguntas de investigación.....	21
Objetivos.....	21
Objetivo general.....	21
Objetivos específicos	21
Justificación.....	21
Capítulo II	24
Estado del arte.....	24
Marco teórico	26

Teoría general de sistemas aplicada a la cadena de suministro	26
Teoría de la Visión Basada en Recursos (RBV) y Competitividad en Logística 4.0 ..	28
Teoría de la Difusión de la Innovación	30
Teoría de los Costos de Transacción	32
Marco conceptual	35
Internet de las Cosas	35
Gestión de la cadena de suministro global	35
Logística 4.0 y transformación digital	36
Dispositivos IoT en la cadena de suministro global	36
Protocolos de comunicación IoT	41
Capítulo III Metodología	47
Enfoque de investigación	47
Tipo y diseño de investigación	47
Población y muestra	49
Técnica e instrumento	51
Técnica.....	51
Instrumento.....	53
Validación y confiabilidad del instrumento	55
Categorías de análisis	70

Consideraciones éticas	71
Capítulo IV Análisis y discusión de los resultados.....	73
Análisis de los dispositivos IoT, protocolos de comunicación y plataformas de datos utilizados en la logística internacional en la cadena de suministro internacional.....	73
Aplicaciones por nodo logístico	73
Comparación funcional de dispositivos IoT	76
Tendencias, desafíos y vacíos identificados en la literatura	84
Síntesis de los hallazgos.....	87
Análisis de relación y matriz de aplicación del IoT en la cadena de suministro internacional.....	87
Proceso para el análisis de relación.....	88
Análisis descriptivo de la matriz	94
Tecnología IoT más transversal y más especializada.....	96
Comparación funcional del GPS y RFID en almacén vs. transporte	96
Patrones de aplicación tecnológica	97
Relaciones más relevantes y rol de los protocolos de comunicación.....	97
Contribución del IoT a la integración de la cadena de suministro	97
Síntesis de hallazgos	98
Discusión	98

Limitaciones para la implementación del IoT en las diferentes etapas de la cadena de suministro	99
Capítulo V	101
Conclusiones.....	101
Recomendaciones	102
REFERENCIAS	104

Índice de tablas

Tabla 1 Bases de datos y organismos consultados.....	50
Tabla 2 Criterios de inclusión y exclusión.....	52
Tabla 3 Matriz de extracción documental (Sintetizada).....	56
Tabla 4 Categorías y subcategorías de análisis.....	71
Tabla 5 Síntesis comparativa de sensores IoT.....	75
Tabla 6 Síntesis comparativa de protocolos IoT.....	77
Tabla 7 Relación entre tecnologías IoT y etapas de la cadena de suministro internacional.....	90

Índice de figuras

Figura 1 Proceso de selección de artículos para la revisión sistemática.....	54
Figura 2 Arquitectura IoT de tres capas aplicada a la cadena de suministro logística internacional	81
Figura 3 Arquitectura IoT de cinco capas aplicada a la cadena de suministro	84

Resumen

La transformación digital de la logística y el transporte internacional ha impulsado la incorporación del Internet de las Cosas (IoT) como una tecnología clave para mejorar la eficiencia, la trazabilidad y la integración de la cadena de suministro. En este contexto la presente investigación tuvo como objetivo analizar, mediante una revisión bibliográfica documental, la contribución del IoT a la optimización de los procesos en la logística y el transporte internacional. Se desarrolló una investigación de enfoque cualitativo, basada en una revisión documental de literatura científica reciente publicada en bases de datos académicas especializadas. La información se seleccionó mediante criterios de inclusión y exclusión previamente definidos y se organizó para identificar las principales aplicaciones, arquitecturas tecnológicas y su relación con las diferentes etapas de la cadena de suministro internacional. Las tecnologías más utilizadas son sensores inteligentes, RFID, GPS, protocolos de comunicación (MQTT, LoRaWAN, NB-IoT y 5G), plataformas en la nube e inteligencia artificial, cuya integración fortalece la trazabilidad, el monitoreo en tiempo real, la gestión de inventarios, el transporte, la gestión aduanera y la distribución. Asimismo, se identificó que el mayor beneficio del IoT no depende de una tecnología aislada, sino de la integración de múltiples soluciones dentro de un ecosistema digital. El IoT constituye un habilitador estratégico para la digitalización de la cadena de suministro internacional, al mejorar la visibilidad, la coordinación entre los actores logísticos y la toma de decisiones basada en datos. No obstante, persisten desafíos relacionados con la interoperabilidad, la ciberseguridad y la estandarización tecnológica.

Palabras clave: Internet de las Cosas, cadena de suministro, logística internacional, transporte internacional, transformación digital.

Abstract

The digital transformation of logistics and international transportation has driven the adoption of the Internet of Things (IoT) as a key technology for improving efficiency, traceability, and supply chain integration. In this context, the present study aimed to analyze, through a documentary literature review, the contribution of the IoT to the optimization of processes in logistics and international transportation. A qualitative research approach was employed based on a documentary review of recent scientific literature published in specialized academic databases. The information was selected using predefined inclusion and exclusion criteria and was organized to identify the main IoT applications, technological architectures, and their relationship with the different stages of the international supply chain. The most widely used technologies identified were smart sensors, RFID, GPS, communication protocols (MQTT, LoRaWAN, NB-IoT, and 5G), cloud platforms, and artificial intelligence. Their integration enhances traceability, real-time monitoring, inventory management, transportation, customs management, and distribution. Furthermore, the findings indicate that the greatest benefits of IoT do not rely on a single technology but rather on the integration of multiple solutions within a digital ecosystem. IoT represents a strategic enabler for the digitalization of the international supply chain by improving visibility, coordination among logistics stakeholders, and data-driven decision-making. However, challenges related to interoperability, cybersecurity, and technological standardization remain.

Keywords: Internet of Things, supply chain, international logistics, international transport, digital transformation.

Capítulo I

Introducción

Impulsada por la necesidad de operar con mayor visibilidad, resiliencia y capacidad de respuesta en entornos internacionales cada vez más complejos; la cadena de suministro global atraviesa una transformación digital acelerada. Debido a ello, el Internet de las Cosas (IoT) ha pasado de ser una tecnología complementaria a convertirse en un componente estructural de la logística digital y de la gestión inteligente de operaciones. La literatura reciente muestra que su adopción en logística y manejo de la cadena de suministro (SCM, Supply Chain Management) se asocia con mejoras en eficiencia, seguridad y sostenibilidad, además de una evolución desde aplicaciones exploratorias hacia implementaciones más maduras y escalables (Tang y Zha, 2026; Zrelli y Rejeb, 2024).

En la logística internacional, la trazabilidad, la visibilidad y el monitoreo en tiempo real se han convertido en requisitos esenciales para coordinar flujos físicos y de información a través de múltiples actores, países y modos de transporte. Estudios recientes señalan que el IoT permite automatizar y digitalizar procesos de la cadena de suministro, así como rastrear y seguir embarques mediante tecnologías como el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), Identificación por Radiofrecuencia (RFID) y Comunicación de Campo Cercano (NFC), fortaleciendo el control operativo en prácticamente todas las etapas del proceso logístico. Asimismo, la literatura sobre visibilidad de la cadena de suministro destaca que el IoT contribuye a mejorar el seguimiento de bienes, la transparencia y la detección oportuna de desviaciones, facilitando una gestión más precisa y menos reactiva (Ahmed et al., 2021; Taj et al., 2023a).

La relevancia del IoT en los procesos logísticos y de transporte internacional se explica también por su capacidad para conectar sensores, dispositivos, plataformas en la nube y sistemas analíticos que convierten datos operativos en decisiones útiles para inventario, rutas,

distribución y control de condiciones de carga. En el campo de la logística 4.0, la investigación reciente subraya que la digitalización no se limita a la incorporación de herramientas aisladas, sino que exige comprender las oportunidades de tecnologías como IoT, inteligencia artificial (IA), cloud computing y big data dentro de los procesos intralogísticos y de transporte (Albrecht et al., 2024; Wong et al., 2024).

La evidencia reciente indica que la convergencia entre IoT e IA puede redefinir la gestión de la cadena de suministro al elevar la productividad, la visibilidad y la sostenibilidad en redes globales interconectadas. La relación entre IoT, logística 4.0 y competitividad internacional es directa. Una cadena de suministro debe ser capaz de capturar datos en tiempo real, anticipar interrupciones y reaccionar con rapidez, mejora su desempeño operativo y su capacidad de adaptación frente a la volatilidad del comercio global. Por lo tanto, la integración de IoT con blockchain robustece la trazabilidad y la integridad de los datos, a la vez que su incorporación a modelos de transformación digital en la cadena de suministro perfecciona la transparencia y la capacidad de respuesta ante eventualidad (Kaur et al., 2022; Samuels, 2025; Tang y Zha, 2026b; Zaman et al., 2025; Zrelli y Rejeb, 2024).

El presente trabajo se estructura en cinco capítulos. El primer capítulo aborda la introducción, el problema de investigación, los objetivos y la justificación. El segundo desarrolla el estado del arte y el marco teórico que sustenta el estudio. El tercero describe la metodología empleada. El cuarto presenta el análisis y discusión de los resultados obtenidos. Finalmente, el quinto capítulo expone las conclusiones y recomendaciones derivadas de la investigación.

Planteamiento del problema

Aunque la cuarta revolución industrial fue presentada por Schwab en Davos en 2016 como una etapa marcada por el internet de las cosas, la automatización y la comunicación acelerada, su adopción ha seguido trayectorias distintas según las necesidades de cada sector.

Esto ha generado una literatura dispersa y poco sistematizada sobre arquitecturas, dispositivos y protocolos IoT aplicados a la logística y al transporte internacional.

El avance de la Industria 4.0 ha favorecido una mayor incorporación de sensores, dispositivos RFID, plataformas en la nube y diversos protocolos de comunicación en las operaciones logísticas. No obstante, la integración de estas tecnologías continúa representando un desafío debido a la diversidad de modos de transporte, las regulaciones aduaneras, los sistemas de información y la participación de múltiples actores en la cadena de suministro internacional. Aunque existe un número creciente de investigaciones sobre tecnologías específicas del Internet de las Cosas, todavía son limitados los estudios que analizan de manera conjunta las arquitecturas, los dispositivos y los protocolos de comunicación, así como su aplicación en las diferentes operaciones logísticas y de transporte internacional.

Como consecuencia, las empresas disponen de información sobre diversas tecnologías IoT, pero no siempre cuentan con una visión integral que les facilite identificar cuáles son las soluciones más adecuadas para cada proceso logístico. Esta situación dificulta la selección e implementación de estas tecnologías, ya que es necesario considerar aspectos como la interoperabilidad entre sistemas, el tipo de operación logística, el nivel de madurez tecnológica y la sostenibilidad de su aplicación.

Formulación del problema o pregunta de investigación

¿Cómo contribuye el Internet de las Cosas (IoT), mediante sus arquitecturas, dispositivos y protocolos, a la optimización de los procesos de la logística y el transporte internacional, según la evidencia científica publicada entre 2021 y 2025?

Preguntas de investigación

1. ¿Cuáles son los principales dispositivos IoT y protocolos de comunicación utilizados en las operaciones de logística y transporte internacional según la evidencia científica?
2. ¿Cómo se relacionan las tecnologías IoT identificadas con las diferentes etapas de la cadena de suministro internacional?
3. ¿Cuáles son los principales beneficios y desafíos reportados en la literatura científica sobre la implementación del IoT en la logística y el transporte internacional?

Objetivos

Objetivo general

Describir las principales aplicaciones y arquitecturas tecnológicas del IoT documentadas en la literatura para la gestión de la cadena de suministro global.

Objetivos específicos

- Analizar, mediante revisión bibliográfica documental, la contribución del Internet de las Cosas (IoT) a la optimización de procesos en la logística y el transporte internacional.
- Realizar una revisión bibliográfica documental de literatura científica y técnica (2021-2025) para identificar, describir y clasificar los dispositivos IoT (sensores, RFID), protocolos de comunicación y plataformas de datos utilizados en la logística internacional.
- Analizar la relación entre las tecnologías IoT identificadas y las etapas específicas de la cadena de suministro internacional (almacenamiento inteligente, monitoreo en tránsito, gestión aduanera, etc.), para elaborar una matriz o cuadro descriptivo.

Justificación

La presente investigación desde el ámbito teórico, contribuye al desarrollo del conocimiento relacionado con la logística internacional y la transformación digital, al recopilar y

analizar los principales aportes científicos sobre la aplicación del Internet de las Cosas. El estudio permitirá identificar las arquitecturas tecnológicas, dispositivos, protocolos de comunicación y plataformas de datos utilizados en diferentes procesos logísticos, así como su relación con actividades como el almacenamiento inteligente, la trazabilidad, el monitoreo en tránsito y la gestión de operaciones internacionales. De esta manera, se proporciona una visión organizada del estado actual del conocimiento sobre IoT aplicado a la Logística 4.0, que puede servir como referencia para futuras investigaciones.

Desde el punto de vista práctico, la investigación puede beneficiar a empresas, profesionales del comercio exterior y actores vinculados con la cadena de suministro, al proporcionar una referencia organizada sobre las principales soluciones IoT utilizadas en el ámbito logístico. La identificación de sus aplicaciones y características permitirá comprender las alternativas tecnológicas existentes y sus posibles aportes en procesos como el seguimiento de mercancías, la visibilidad de las operaciones y la gestión eficiente de la información. Esto puede servir como apoyo para futuros análisis relacionados con la incorporación de tecnologías digitales en el sector logístico.

Desde una perspectiva social, la investigación beneficia indirectamente a los diferentes actores que participan en el comercio internacional, como empresas exportadoras, operadores logísticos, transportistas y profesionales del área, al generar conocimiento sobre herramientas tecnológicas orientadas a mejorar la eficiencia de las operaciones. Además, el estudio se relaciona con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), principalmente con el ODS 9: Industria, innovación e infraestructura, al abordar el uso de tecnologías digitales para fortalecer los procesos productivos y logísticos, y con el ODS 12: Producción y consumo responsables, debido a que la optimización de la gestión de información y recursos puede contribuir a operaciones más eficientes y sostenibles.

Desde la perspectiva metodológica, la investigación aporta mediante el desarrollo de una revisión bibliográfica documental basado en un proceso organizado de búsqueda, selección y análisis de literatura científica y técnica reciente. Asimismo, la elaboración de una matriz descriptiva permitirá relacionar las tecnologías IoT identificadas con sus principales aplicaciones dentro de la cadena de suministro internacional, facilitando la organización de los hallazgos y proporcionando una base de consulta para futuras investigaciones sobre digitalización, logística inteligente y tecnologías emergentes.

Capítulo II

Estado del arte

El Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés *Internet of Things*) constituye una de las tecnologías más estudiadas dentro de la transformación digital y la Industria 4.0, debido a su capacidad para conectar objetos físicos mediante internet y permitir el intercambio automatizado de información en tiempo real. Desde la perspectiva de Pal y Yasar (2023) se amplía el concepto tradicional de comunicación en Internet, ya que no solo permite la interacción entre personas, sino también entre objetos y dispositivos inteligentes capaces de recopilar y transmitir datos.

En relación con la estructura tecnológica del IoT, investigaciones recientes han centrado su atención en las arquitecturas que permiten la comunicación entre dispositivos, sistemas de procesamiento y plataformas digitales. Según Sallam et al. (2023), los sistemas IoT se estructuran mediante diferentes capas, donde cada una cumple una función específica dentro del proceso de captura, transmisión, análisis y gestión de información. De igual manera, Khan et al. (2023) destacan que la incorporación de sensores inteligentes, redes inalámbricas, computación en la nube e inteligencia artificial ha permitido la evolución del IoT hacia ecosistemas tecnológicos capaces de automatizar procesos y mejorar la toma de decisiones.

Desde el ámbito de la cadena de suministro, Sallam et al. (2023) profundizan en el impacto estratégico del Internet de las Cosas dentro de la cadena de suministro, al señalar que “las implicaciones del IoT van mucho más allá de la simple conveniencia; estas tienen el potencial de revolucionar industrias, incluida la gestión de la cadena de suministro, mediante la mejora de la eficiencia, la visibilidad y el rendimiento operativo general” (p. 4). Este aporte evidencia que el IoT no debe entenderse únicamente como una herramienta de automatización, sino como una tecnología capaz de modificar la forma en que las organizaciones monitorean sus operaciones, gestionan información y toman decisiones dentro de sus procesos logísticos.

En este sentido, diversos estudios han identificado que las principales aplicaciones del IoT en la logística están relacionadas con la trazabilidad de mercancías, el monitoreo de condiciones de carga, la gestión de inventarios y el seguimiento del transporte internacional. Estas aplicaciones permiten obtener información en tiempo real y mejorar la visibilidad de la cadena de suministro; sin embargo, la literatura existente suele analizar tecnologías específicas de manera independiente, como sensores, dispositivos RFID o plataformas digitales, generando una visión fragmentada sobre la relación entre dispositivos, arquitecturas y protocolos de comunicación dentro de las operaciones logísticas.

La globalización ha transformado la manera en que se gestionan las cadenas de suministro, ya que el crecimiento del comercio internacional ha ampliado las redes logísticas y ha hecho más compleja la coordinación de operaciones entre distintos países. Esta realidad implica la participación de múltiples actores, diferentes medios de transporte y el cumplimiento de diversas regulaciones comerciales y aduaneras, además de enfrentar factores como las fluctuaciones económicas y los riesgos geopolíticos (Ruiz-López, 2024). Ante este panorama, las organizaciones necesitan estrategias más eficientes y flexibles que les permitan tomar decisiones oportunas a partir de información disponible en tiempo real.

Según Khan et al. (2023), la aplicación del IoT en la gestión sostenible de la cadena de suministro contribuye a mejorar la eficiencia operativa, la sostenibilidad y la toma de decisiones basada en datos. En este contexto, el Internet de las Cosas (IoT) ha cobrado una importancia creciente al facilitar la recopilación, transmisión y análisis de datos a lo largo de la cadena de suministro. No obstante, la literatura científica suele estudiar por separado aspectos como las arquitecturas, los dispositivos y los protocolos de comunicación, lo que dificulta comprender de manera integral cómo estas tecnologías se complementan y contribuyen a las diferentes etapas de la logística y el transporte internacional. Por esta razón, la presente investigación busca

organizar y analizar el conocimiento disponible sobre las principales aplicaciones, arquitecturas y tecnologías IoT reportadas en la literatura científica reciente, con el propósito de ofrecer una visión más amplia e integrada de su aplicación en este ámbito.

A lo largo de las diferentes revoluciones industriales, los procesos productivos, tecnológicos y logísticos han experimentado importantes transformaciones que han modificado poco a poco la forma en la que las empresas gestionan sus operaciones y cadenas de suministro. Desde la mecanización industrial hasta la automatización y digitalización de los sistemas productivos, cada avance tecnológico ha contribuido al desarrollo de modelos más eficientes, conectados y orientados a la optimización de recursos (Freire y Reyes, 2024).

La digitalización logística implica la utilización de herramientas tecnológicas para optimizar el flujo de información y recursos dentro de la cadena de suministro. Esto incluye el uso de plataformas en la nube, *smarts sensors*, sistemas de monitoreo y análisis de datos, los cuales permiten obtener información en tiempo real sobre inventarios, transporte y distribución de mercancías. Debido a ello, es posible las mejoras de la visibilidad de la empresas en cuanto a sus operaciones, a la reducción de tiempos de respuesta y al fortalecimiento de la coordinación entre los distintos actores logísticos (Freire y Reyes, 2024).

Marco teórico

Teoría general de sistemas aplicada a la cadena de suministro

La Teoría General de Sistemas constituye un enfoque que permite comprender a las organizaciones como un conjunto de elementos interrelacionados que interactúan de manera coordinada para alcanzar un objetivo común. Desde esta perspectiva, ningún componente funciona de forma aislada, ya que cada uno depende de la interacción con los demás para garantizar el funcionamiento eficiente del sistema en su totalidad. En consecuencia, cualquier cambio o alteración en uno de sus elementos repercute sobre el comportamiento del resto del sistema, influyendo en los resultados finales del proceso (Caciano et al., 2023)

Aplicada al ámbito logístico, esta teoría sostiene que la cadena de suministro puede entenderse como un sistema integrado en el que participan diversos actores, recursos, procesos y flujos de información que mantienen una relación de dependencia entre sí. Dicho sistema inicia con la incorporación de insumos, continúa con su transformación mediante diferentes procesos logísticos y culmina con la entrega de productos o servicios que satisfacen las necesidades del cliente. Para que este ciclo funcione de manera eficiente, es indispensable que exista una adecuada coordinación entre cada una de las etapas que lo conforman, evitando interrupciones que afecten el flujo de materiales, mercancías e información (Caciano et al., 2023)

De acuerdo con (Caciano et al., 2023), la cadena de suministro requiere una interacción permanente entre los diferentes componentes que participan en el traslado de mercancías, materiales y bienes en general. Para ello, resulta necesario disponer de insumos físicos, tecnológicos y humanos que permitan desarrollar las operaciones de transporte bajo condiciones de seguridad, trazabilidad y cumplimiento de los tiempos de entrega establecidos. Cuando alguno de estos elementos presenta deficiencias, el desempeño del sistema puede verse afectado, generando retrasos, incremento de costos o dificultades para responder a las necesidades del mercado.

Asimismo, la Teoría General de Sistemas resalta la importancia de los flujos de información como un elemento indispensable para el funcionamiento de la cadena de suministro. La información obtenida durante las diferentes etapas del proceso permite monitorear el comportamiento del sistema, detectar posibles desviaciones y facilitar la toma de decisiones orientadas a mejorar el desempeño logístico. En este sentido, las decisiones estratégicas no dependen únicamente de la experiencia de los responsables de la operación, sino también del análisis de los datos generados durante el desarrollo de las actividades

logísticas, lo que contribuye a una gestión más eficiente y coordinada del sistema (Caciano et al., 2023)

En este contexto, la incorporación de tecnologías como el Internet de las Cosas fortalece el enfoque sistémico de la cadena de suministro al facilitar la comunicación entre los distintos componentes que integran el proceso logístico. La captura y transmisión continua de información mediante sensores y dispositivos conectados incrementan la visibilidad de las operaciones, favorecen el monitoreo en tiempo real y permiten identificar oportunamente posibles incidencias durante el transporte y almacenamiento de las mercancías. De esta manera, el flujo constante de información contribuye a mantener la estabilidad del sistema y a optimizar la coordinación entre sus diferentes actores (Caciano et al., 2023)

En el marco de la presente investigación, la Teoría General de Sistemas proporciona un fundamento conceptual para comprender la logística y el transporte internacional como un sistema integrado, en el que la coordinación entre procesos, recursos, infraestructura tecnológica y flujo de información determina el desempeño de toda la cadena de suministro. Bajo este enfoque, el Internet de las Cosas constituye una herramienta que fortalece la interacción entre los componentes del sistema, favoreciendo una mayor eficiencia operativa, una mejor trazabilidad de las mercancías y una toma de decisiones sustentada en información obtenida en tiempo real (Caciano et al., 2023)

Teoría de la Visión Basada en Recursos (RBV) y Competitividad en Logística 4.0

La Teoría de la Visión Basada en Recursos (Resource-Based View, RBV) constituye uno de los enfoques más relevantes dentro de la gestión estratégica para explicar el origen de las ventajas competitivas sostenibles de una organización. Esta teoría fue desarrollada por Jay Jay Barney (1991) quien sostiene que el desempeño superior de una empresa no depende únicamente de las condiciones del entorno o del mercado, sino principalmente de los recursos y capacidades internas que posee y de la forma en que estos son gestionados. Desde esta

perspectiva, las organizaciones alcanzan una posición competitiva cuando disponen de recursos estratégicos capaces de generar valor y diferenciarse de sus competidores Jay Barney (1991)

De acuerdo con Jay Barney (1991) ,los recursos internos constituyen el principal elemento diferenciador entre las organizaciones, ya que permiten desarrollar capacidades que favorecen la eficiencia operativa, la innovación y la adaptación a los cambios del entorno. Estos recursos pueden ser tangibles, como la infraestructura tecnológica o los equipos especializados, e intangibles, como el conocimiento organizacional, la experiencia del talento humano, los procesos internos y las capacidades de gestión. La combinación adecuada de estos recursos fortalece el desempeño empresarial y contribuye a la generación de ventajas competitivas sostenibles en el tiempo (Jay Barney 1991).

En el ámbito de la logística y la gestión de la cadena de suministro, la aplicación de la RBV adquiere especial relevancia debido al creciente uso de tecnologías digitales para optimizar las operaciones. En este contexto, Bals y Rosca (2022) señalan que la infraestructura tecnológica avanzada, incluyendo las redes de alta velocidad y las plataformas basadas en Internet de las Cosas (IoT), constituye un recurso estratégico que permite reducir costos operativos, mejorar la coordinación de los procesos logísticos y garantizar una trazabilidad más precisa de las mercancías a lo largo de toda la cadena de suministro. Estas capacidades tecnológicas fortalecen la eficiencia operativa y facilitan una gestión más integrada de la información (Bals y Rosca 2022)

Desde la perspectiva de la Teoría de la Visión Basada en Recursos, la implementación del Internet de las Cosas representa mucho más que la incorporación de herramientas tecnológicas, ya que constituye un recurso estratégico cuando la organización es capaz de integrarlo de manera efectiva dentro de sus procesos operativos. La recopilación y transmisión de información en tiempo real favorecen una mayor visibilidad de las operaciones logísticas,

permiten identificar posibles incidencias con mayor rapidez y respaldan la toma de decisiones oportunas para mejorar el desempeño de la cadena de suministro. En consecuencia, el valor del IoT no radica únicamente en la tecnología, sino también en la capacidad de la empresa para utilizarla de manera eficiente y convertir la información obtenida en mejoras operativas (Barney, 1991; Bals & Rosca, 2022).

Asimismo, la incorporación de soluciones basadas en IoT exige que las organizaciones desarrollen capacidades complementarias relacionadas con la gestión de datos, la integración de sistemas tecnológicos y la preparación del talento humano para aprovechar el potencial de estas herramientas. En este sentido, la infraestructura tecnológica solo genera ventajas competitivas cuando se encuentra respaldada por procesos organizacionales que permitan utilizar la información obtenida para optimizar la planificación, el control y la ejecución de las operaciones logísticas, fortaleciendo así el desempeño empresarial frente a un entorno cada vez más dinámico y competitivo (Barney, 1991; Bals & Rosca, 2022).

En el marco de la presente investigación, la Teoría de la Visión Basada en Recursos proporciona un fundamento conceptual para comprender cómo la incorporación del Internet de las Cosas contribuye a la optimización de la logística y el transporte internacional. Bajo este enfoque, la infraestructura tecnológica, la capacidad organizacional para gestionar la información y la integración de herramientas digitales constituyen recursos estratégicos que fortalecen la competitividad de las empresas, mejoran la trazabilidad de las mercancías y favorecen una toma de decisiones más eficiente dentro de la cadena de suministro (Barney, 1991; Bals & Rosca, 2022).

Teoría de la Difusión de la Innovación

La Teoría de la Difusión de la Innovación constituye uno de los principales enfoques para comprender la forma en que las nuevas tecnologías, productos o prácticas son adoptados

dentro de una sociedad u organización. Esta teoría, desarrollada por Everett Rogers, explica que la difusión de una innovación es un proceso mediante el cual una idea o tecnología se comunica y se propaga entre los miembros de un sistema social a lo largo del tiempo, dependiendo de las características de la innovación y de la disposición de los usuarios para incorporarla en sus actividades. Este enfoque permite analizar los factores que favorecen o limitan la adopción de nuevas soluciones tecnológicas en distintos sectores productivos (El Malouf & Bahemia, 2026)

Desde esta perspectiva, la incorporación de una innovación no ocurre de manera inmediata ni uniforme entre todas las organizaciones. Por el contrario, representa un proceso gradual en el que las empresas evalúan los beneficios, los riesgos y las implicaciones que conlleva la implementación de una nueva tecnología antes de decidir su adopción. En consecuencia, la velocidad con la que una innovación se difunde depende tanto de las características de la tecnología como del contexto organizacional y del entorno en el que se desarrolla, aspectos que influyen directamente en la aceptación de los cambios tecnológicos (El Malouf & Bahemia, 2026)

En el ámbito industrial y logístico, esta teoría resulta especialmente relevante debido al acelerado proceso de transformación digital que experimentan las cadenas de suministro. La incorporación de tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT) representa una innovación que modifica la forma en que las organizaciones gestionan sus operaciones, permitiendo automatizar procesos, incrementar la disponibilidad de información y fortalecer la coordinación entre los diferentes actores que participan en la cadena logística. Sin embargo, la adopción de estas herramientas depende de la capacidad de las empresas para reconocer sus beneficios y adaptarlas a sus procesos internos, favoreciendo así una transición progresiva hacia modelos de gestión más digitalizados (El Malouf & Bahemia, 2026).

Asimismo, la Teoría de la Difusión de la Innovación permite comprender que la implementación del IoT no constituye únicamente un cambio tecnológico, sino también un proceso organizacional que implica la incorporación de nuevas formas de trabajo, la capacitación del talento humano y la adaptación de los procesos existentes. En este sentido, la aceptación de la innovación está estrechamente vinculada con la percepción que tienen las organizaciones sobre las ventajas que ofrece la tecnología para mejorar la eficiencia operativa, optimizar la toma de decisiones y fortalecer la competitividad dentro de un entorno cada vez más dinámico y digitalizado (El Malouf & Bahemia, 2026)

En el marco de la presente investigación, la Teoría de la Difusión de la Innovación proporciona un fundamento conceptual para explicar el proceso mediante el cual las tecnologías basadas en Internet de las Cosas se incorporan progresivamente en la logística y el transporte internacional. Este enfoque permite comprender que la adopción del IoT depende no solo de la disponibilidad de la tecnología, sino también de la capacidad de las organizaciones para integrarla en sus procesos, aprovechar la información generada y convertirla en una herramienta que contribuya a la optimización de las operaciones logísticas y al fortalecimiento de su competitividad (El Malouf & Bahemia, 2026).

La incorporación de nuevas tecnologías en el sector industrial se examina a través de la Teoría de la Difusión de la Innovación, desarrollada formalmente por Everett Rogers (El Malouf & Bahemia, 2026) explica los mecanismos por los cuales las herramientas digitales y los nuevos productos se propagan a través de un sistema social a lo largo del tiempo.

Teoría de los Costos de Transacción

La Teoría de los Costos de Transacción constituye uno de los principales enfoques para comprender las decisiones económicas que toman las organizaciones respecto a la forma en que obtienen los recursos necesarios para desarrollar sus actividades. Esta teoría, desarrollada por Ronald Coase y expuesta por Balza et al. (2022), sostiene que toda transacción económica

implica la generación de costos adicionales más allá del precio del bien o servicio adquirido. Dichos costos se originan durante las diferentes etapas del intercambio comercial, incluyendo la búsqueda de información, la identificación de proveedores y clientes, la negociación de acuerdos, la supervisión del cumplimiento de los contratos y las actividades posteriores a la venta, como las garantías o la resolución de inconvenientes (Balza et al., 2022)

Desde esta perspectiva, el funcionamiento de los mercados no se limita únicamente al intercambio de bienes y servicios, sino que involucra un conjunto de actividades necesarias para que dicho intercambio pueda realizarse de manera eficiente. Estas actividades representan una fricción inherente al proceso económico, ya que requieren tiempo, recursos financieros y esfuerzos administrativos que incrementan el costo total de las operaciones. En consecuencia, las organizaciones buscan mecanismos que les permitan reducir estos costos y desarrollar sus procesos de forma más eficiente, favoreciendo una mejor utilización de sus recursos y una mayor competitividad (Balza et al., 2022)

Asimismo, la teoría plantea que las empresas evalúan continuamente si resulta más conveniente adquirir bienes o servicios a través del mercado o incorporarlos dentro de su propia estructura organizacional. Cuando los costos asociados al mercado son relativamente bajos, las organizaciones tienden a recurrir a proveedores externos para aprovechar las ventajas derivadas de la especialización y la competencia. En cambio, cuando los costos de transacción aumentan debido a dificultades para obtener información, supervisar operaciones o garantizar el cumplimiento de los acuerdos, las empresas pueden optar por integrar determinadas actividades dentro de su organización con el propósito de ejercer un mayor control sobre sus procesos y reducir la incertidumbre (Balza et al., 2022)

En el contexto de la logística y el transporte internacional, la Teoría de los Costos de Transacción adquiere una relevancia particular debido a la complejidad que caracteriza a las cadenas de suministro modernas. La coordinación entre proveedores, operadores logísticos,

transportistas, agentes aduaneros y clientes genera un volumen considerable de información que debe ser gestionada de manera oportuna para evitar retrasos, errores operativos y costos adicionales. En este escenario, la disponibilidad de información confiable y en tiempo real contribuye a disminuir la incertidumbre durante las operaciones logísticas y facilita una gestión más eficiente de los recursos involucrados (Balza et al., 2022)

En este sentido, la incorporación del Internet de las Cosas (IoT) representa una herramienta tecnológica capaz de contribuir a la reducción de los costos de transacción mediante la automatización de la captura de datos, el monitoreo continuo de las mercancías y la disponibilidad de información en tiempo real sobre el estado de las operaciones. La interconexión de dispositivos inteligentes permite mejorar la visibilidad de la cadena de suministro, fortalecer la trazabilidad de los productos y respaldar una toma de decisiones más oportuna, reduciendo la necesidad de controles manuales y disminuyendo los costos asociados a la supervisión y al intercambio de información entre los diferentes actores logísticos (Balza et al., 2022)

En el marco de la presente investigación, la Teoría de los Costos de Transacción proporciona un fundamento conceptual para comprender cómo la implementación del Internet de las Cosas puede contribuir a la optimización de la logística y el transporte internacional. Desde este enfoque, el valor del IoT no radica únicamente en la interconexión de dispositivos, sino también en su capacidad para generar información útil que facilite la coordinación entre los actores de la cadena de suministro, reduzca la incertidumbre operativa y permita desarrollar procesos logísticos más eficientes, contribuyendo así al fortalecimiento de la competitividad de las organizaciones (Balza et al., 2022)

Marco conceptual

Internet de las Cosas

El término *Internet of Things* fue propuesto en 1999 por Kevin Ashton al buscar optimizar el flujo de información entre procesos de logística y cadena de suministro, por lo que surgió la idea de que los objetos pudieran conectarse a internet y compartir información de forma automática, con el fin de reducir el uso de registros manuales y mejorar la visibilidad y el control dentro de las operaciones logísticas. Esta propuesta sentó las bases para una nueva forma de entender la interacción entre objetos y sistemas digitales (González Duque, 2023).

En términos generales, el IoT puede definirse como un conjunto de objetos físicos y virtuales interconectados a través de una red que les permite comunicarse, detectar e interactuar con su entorno interno y externo. En este sentido, su trabajo no depende solo de la red sino de la capacidad de los sensores de captar datos del ambiente en donde se encuentran con la finalidad de recrear el ambiente de manera digital y tomar decisiones autónomas conforme a lo que se capta, entonces el sistema se ejecuta de manera automática, capaz de intercambiar datos en tiempo real (Pal y Yasar, 2023).

Gestión de la cadena de suministro global

La cadena de suministro puede definirse como el conjunto de procesos, actividades y actores involucrados en el flujo de bienes, información y recursos desde los proveedores hasta el consumidor final. Su estudio no se limita únicamente al análisis de procesos internos de una organización, sino que también integra a los distintos participantes que intervienen antes y después del fabricante, como proveedores, distribuidores, mayoristas y detallistas (Pal y Yasar, 2023).

En este escenario, el IoT se posiciona como un elemento clave para la automatización de procesos y la mejora del rendimiento operativo global. En consecuencia, la gestión de la cadena de suministro global se ha vuelto más transparente y eficiente, ya que las empresas

pueden monitorear en tiempo real el estado de sus productos, anticipar fallos en la cadena logística y tomar decisiones más informadas, lo que incrementa su competitividad en el mercado internacional (Sallam et al., 2023).

Logística 4.0 y transformación digital

El concepto de Industria 4.0 surgió oficialmente en Alemania durante la Feria de Hanover en 2011, donde se presentó la idea de una “fábrica inteligente” basada en la integración de tecnologías digitales avanzadas. Posteriormente, en 2013, el gobierno alemán desarrolló una estrategia orientada a impulsar esta iniciativa con el propósito de fortalecer la competitividad y el futuro de la industria alemana (Freire y Reyes, 2024).

Como resultado de esta integración tecnológica surge el concepto de *smart logistics* o logística inteligente, entendido como un modelo logístico basado en sistemas interconectados y automatizados que permiten mejorar la trazabilidad, el monitoreo de mercancías, la optimización de rutas y la eficiencia operativa dentro de la cadena de suministro (Khan et al., 2023).

En la Logística 4.0, la automatización es una pieza clave. Su objetivo es reducir la intervención manual y lograr que las operaciones sean más precisas. En la práctica, actividades como el control de inventarios, el seguimiento de mercancías, la planificación de rutas y el monitoreo del transporte pueden ejecutarse mediante tecnologías inteligentes que realizan estas tareas de forma automática, lo que ayuda a disminuir errores operativos y a utilizar mejor los recursos disponibles (Freire & Reyes, 2024).

Dispositivos IoT en la cadena de suministro global

En la literatura reciente sobre gestión de la cadena de suministro, los dispositivos IoT aparecen como una capa instrumental para capturar datos físicos en tiempo real, transmitirlos por redes inalámbricas y convertirlos en visibilidad operativa. La revisión sistemática más completa sobre IoT en SCM publicada en 2023 destaca que estos dispositivos se usan para

rastreo, control de activos y monitoreo en casi todas las etapas de la cadena, con tecnologías como GPS, RFID y NFC, además de sensores integrados en distintas aplicaciones logísticas (Taj et al., 2023).

Sensores

Un sensor IoT es un dispositivo que detecta cambios físicos o ambientales y los convierte en señales medibles para su procesamiento digital. La revisión técnica de 2025 sobre sensores IoT lo define como un módulo capaz de detectar variaciones de temperatura, presión, humedad, movimiento y fuerza, y transformarlas en información utilizable por sistemas de análisis y control (Abdulhussain et al., 2025).

Sensores de temperatura y humedad.

Miden el calor o la energía térmica de un objeto o entorno, mientras que los de humedad cuantifican el contenido de vapor de agua en el aire. Los primeros pueden ser de contacto o sin contacto, mientras que, los segundos pueden convertir la variación de humedad en cambios de resistencia, capacitancia e impedancia (Abdulhussain et al., 2025).

En la logística internacional, los sensores de temperatura y humedad cumplen un papel central en la gestión de la cadena de frío. Su uso es especialmente relevante en el transporte de productos perecederos, donde mantener condiciones ambientales específicas resulta indispensable para evitar el deterioro de la mercancía, la pérdida de calidad y posibles riesgos sanitarios. De hecho, estudios recientes muestran que estos dispositivos permiten monitorear continuamente las condiciones de conservación mediante sistemas de trazabilidad basados en tecnologías como LoRaWAN, además de transmitir información en tiempo real para supervisar mercancías sensibles tanto dentro de contenedores como en instalaciones portuarias (Cil et al., 2022; Protopappas et al., 2025).

La principal fortaleza de estos sensores es su capacidad para detectar desviaciones antes de que afecten al producto. Esto reduce el riesgo de interrupciones en la cadena de frío.

También mejora la trazabilidad. Gracias a la información generada en tiempo real, las empresas pueden tomar decisiones más rápidas, fortalecer los controles de calidad y disminuir pérdidas asociadas al deterioro de la mercancía, lo que se refleja en mayores niveles de satisfacción del cliente (Cil et al., 2022; Protopappas et al., 2025).

Sensores de vibración y golpes.

Los sensores de vibración e impacto registran aceleraciones, golpes y oscilaciones mecánicas. Estudios técnicos recientes los posicionan dentro de las redes inalámbricas de IoT como herramientas fundamentales para medir la dinámica de vibración, destacando el papel de los acelerómetros MEMS en la monitorización continua (Abdulhussain et al., 2025).

En las cadenas de suministro globales, estos instrumentos permiten identificar la manipulación incorrecta, la caída de mercancías, los daños en el embalaje y las situaciones de transporte peligrosas para productos frágiles. En este contexto, los contenedores inteligentes incorporan sensores de movimiento de tres ejes capaces de identificar impactos y generar alertas automáticas cuando se superan los parámetros establecidos por los operadores (Falcitelli et al., 2024).

Su utilización contribuye a proteger la mercancía y mejorar la trazabilidad de los incidentes ocurridos durante el transporte marítimo, terrestre o multimodal, lo que resulta especialmente útil para productos sensibles o de alto valor.

Sensores de apertura de puertas.

Los sensores de puertas y ventanas detectan si una puerta o punto de acceso se ha abierto o cerrado, generalmente mediante imanes u otros mecanismos sin contacto. La literatura técnica los clasifica como sensores de proximidad y presencia que responden a cambios en su entorno inmediato (Abdulhussain et al., 2025). En la logística internacional, son muy útiles para proteger contenedores, camiones, cámaras frigoríficas y almacenes de alta seguridad. Varios estudios recientes confirman que el control de acceso es una función clave

de los contenedores inteligentes para prevenir robos y entradas no autorizadas (Dzankic et al., 2026).

La principal ventaja de estos sensores radica en que permiten detectar el momento en que un contenedor es abierto, lo que facilita el control de la carga y ayuda a identificar posibles accesos no autorizados durante el transporte. Cuando se integran con tecnologías como el GPS y sensores de temperatura, proporcionan una visión más completa del estado y recorrido de la mercancía, facilitando las labores de monitoreo, trazabilidad y auditoría (Falcitelli et al., 2024).

GPS.

Es una tecnología que utiliza señales satelitales para calcular y transmitir la ubicación exacta de un objeto mediante dispositivos de rastreo. Diversas revisiones técnicas destacan que es una de las herramientas más utilizadas en la cadena de suministro para la trazabilidad de mercancías (Abdulhussain et al., 2025; Taj et al., 2023).

En la logística internacional, el sistema de posicionamiento global se utiliza para seguir la ruta de las flotas, contenedores, remolques y carga de gran valor. También se combina con telemetría para proporcionar información en tiempo real a las plataformas de control, como lo hacen los sistemas de contenedores inteligentes y el monitoreo de la cadena de frío en los puertos. El beneficio principal de esto es que se puede ver la ruta que sigue la carga, calcular el tiempo estimado de llegada, detectar cualquier desvío y mejorar la coordinación entre las personas que trabajan en la logística.

Sensores de presión.

Estos sistemas transforman la fuerza de un fluido, gas o carga mecánica en una señal eléctrica. En la logística internacional, se utilizan en contenedores inteligentes para detectar cambios físicos anómalos, complementando la monitorización de la temperatura, la humedad y el movimiento (Abdulhussain et al., 2025).

Estos sistemas ofrecen diversas ventajas operativas, como la detección de alteraciones y tensiones mecánicas en la carga, la monitorización de las condiciones internas del contenedor para proteger productos sensibles y, al combinarse con sensores de vibración y de puertas, proporcionan pruebas sólidas de posibles manipulaciones.

Sensores de movimiento.

Estos dispositivos detectan movimiento, orientación, aceleración o presencia en un espacio determinado. Estudios recientes explican que herramientas como acelerómetros, giroscopios y magnetómetros son esenciales para la seguridad y el seguimiento.

En logística internacional, los acelerómetros y sensores de movimiento se utilizan para supervisar contenedores, vehículos y almacenes, ya que permiten detectar desplazamientos inesperados, golpes o manipulaciones inadecuadas de la carga. Su valor aumenta cuando se integran con sistemas inteligentes de monitoreo que registran estos eventos de forma automática y contribuyen a reforzar la protección de la mercancía durante su transporte y almacenamiento (Abdulhussain et al., 2025; Cil et al., 2022).

Su principal aporte está en la trazabilidad de los eventos físicos. También fortalecen la seguridad. Al generar alertas en tiempo real, ayudan a diferenciar las operaciones normales de posibles incidentes dentro de flotas y centros logísticos, lo que facilita una respuesta más rápida ante situaciones de riesgo.

Tecnología RFID

La identificación por radiofrecuencia (RFID) permite leer y registrar datos sin contacto visual directo. En la cadena de suministro, especialmente mediante tecnología UHF, se utiliza para inventarios, trazabilidad y control de activos en procesos de distribución, almacenamiento, manufactura y logística inversa (Crooks y Haddud, 2025).

RFID pasivo. No cuentan con una batería propia, por lo que obtienen la energía necesaria para su funcionamiento a partir de la señal emitida por el lector. Debido a ello, son

más pequeñas, económicas y presentan una mayor vida útil; sin embargo, su alcance de lectura es más limitado. Se emplean principalmente en inventarios, control de mercancías, seguimiento de pallets y lectura simultánea de múltiples unidades. Estudios recientes reportan altos niveles de precisión en almacenes cuando se optimiza la ubicación de las etiquetas y las zonas de lectura (Pereira et al., 2024; Vaccari et al., 2024).

RFID activo. Incorpora una batería integrada que les permite transmitir información de forma continua y alcanzar mayores distancias de lectura. Por esta razón, suelen emplearse para el monitoreo de activos de alto valor, equipos móviles y operaciones desarrolladas en áreas extensas. Su principal limitación es el costo asociado al mantenimiento y reemplazo de baterías (Dziedzic et al., 2024; Pereira et al., 2024).

La tecnología RFID utiliza diferentes frecuencias de operación, las cuales influyen en aspectos como la distancia de lectura y el desempeño del sistema. En las aplicaciones logísticas predomina el uso de la banda de ultra alta frecuencia (UHF), ya que permite identificar mercancías de forma rápida y eficiente en actividades como el control de inventarios y la gestión de almacenes.

Protocolos de comunicación IoT

LoRaWAN

Es una red pensada para aplicaciones IoT que necesitan enviar poca información, a largas distancias y con bajo consumo energético. Funciona sobre la capa física LoRa, lo que la convierte en una opción abierta, flexible y adecuada para comunicaciones pequeñas y no tan frecuentes. En la práctica, su cobertura puede alcanzar varios kilómetros, con reportes cercanos a 5 km en zonas urbanas y hasta 20 km en áreas rurales, aunque otros despliegues reales mencionan alcances de 11 km y baterías con autonomía superior a dos años en ciertos escenarios (Orlovs et al., 2025; Seoane et al., 2021; Zreikat et al., 2025).

En la logística, esta tecnología resulta especialmente útil para el seguimiento de activos, el monitoreo de variables ambientales, el control de almacenes remotos, la supervisión de patios logísticos y la transmisión de datos de baja frecuencia. No obstante, no está diseñada para enviar grandes volúmenes de información en tiempo real. Su principal fortaleza radica en el bajo consumo energético, la amplia cobertura de comunicación y los costos relativamente controlados, además de permitir que algunas empresas gestionen su propia infraestructura de red, lo que les da mayor autonomía operativa (Bonilla et al., 2023a; Orlovs et al., 2025).

NB-IoT

Es una tecnología LPWAN celular diseñada para conectar dispositivos IoT que transmiten poca información y necesitan bajo consumo energético. Opera en espectro licenciado, normalmente en canales de 180 kHz integrados a redes LTE o GSM, y funciona bajo la infraestructura de operadores móviles, con mecanismos de ahorro como PSM y eDRX que permiten extender la duración de la batería. En términos prácticos, se trata de una red móvil pensada para sensores pequeños, con buena cobertura en interiores o zonas difíciles, capacidad para enviar datos de baja velocidad, hasta 50 kbps, y autonomía que puede llegar a varios años si el uso está bien configurado (Orlovs et al., 2025).

En logística, NB-IoT resulta útil para activos que permanecen fijos o se mueven lentamente, como contenedores estacionados en patios, sensores instalados en almacenes o dispositivos que solo reportan información algunas veces al día. Su principal ventaja está en la estabilidad de la señal y el bajo consumo cuando el equipo se mantiene dentro de una misma zona de cobertura.

5G

Ofrece una alta velocidad, baja latencia y conexión simultánea de muchos dispositivos. En logística inteligente, esto permite operar con datos casi instantáneos, conectar equipos críticos y sostener procesos automatizados en entornos como puertos, almacenes y centros de

distribución. De acuerdo con estudios recientes, 5G aporta tres capacidades importantes para las aplicaciones IoT: una comunicación con baja latencia, soporte para la conexión simultánea de múltiples dispositivos y la posibilidad de crear redes adaptadas a necesidades específicas mediante una misma infraestructura. Estas ventajas fortalecen la visibilidad, el monitoreo y el control de las operaciones dentro de la cadena de suministro (Khatib & Barco, 2021; Zreikat et al., 2025).

Su valor está en manejar grandes volúmenes de dispositivos y datos al mismo tiempo. Por eso resulta útil en escenarios donde se necesita video en vivo, análisis inmediato de información, control de maquinaria en tiempo real o coordinación de vehículos conectados.

Sigfox

Sigfox es una tecnología de red de área amplia de baja potencia (LPWAN) que utiliza frecuencias no licenciadas para transmitir mensajes pequeños con un consumo energético mínimo. Aunque presenta una velocidad reducida (100 a 600 bps) y una capacidad limitada de carga útil (12 bytes en transmisión y 8 bytes en recepción), se destaca por su capacidad para cubrir largas distancias con un bajo consumo de batería. En el ámbito logístico, resulta adecuada para aplicaciones como rastreo básico de activos, alertas esporádicas, supervisión remota y monitoreo de variables de bajo volumen de datos, donde se requiere identificar cambios de estado más que transmitir grandes cantidades de información. Su principal ventaja radica en la eficiencia energética y el alcance, con coberturas reportadas de hasta 10 km en entornos urbanos y mayores distancias en pruebas experimentales; sin embargo, sus limitaciones incluyen la disponibilidad geográfica no universal, la baja capacidad de transmisión y dificultades de escalabilidad ante una alta densidad de dispositivos.

MQTT y CoAP

El transporte de telemetría de cola de mensajes, también conocido como MQTT, y el Protocolo de aplicación restringida, o CoAP, son dos tecnologías que no se relacionan directamente con la radio. En su lugar, se utilizan como protocolos de aplicación. El MQTT utiliza un modelo en el que se publican y se suscriben mensajes a través de TCP. Para que esto funcione, necesita un intermediario que distribuya los mensajes. Por otro lado, CoAP utiliza un modelo de solicitud y respuesta a través de UDP. Esto lo hace más ligero y adecuado para dispositivos que tienen recursos limitados. En CoAP, los recursos se pueden acceder mediante una dirección web, llamada URI. La razón por la que la cobertura de estas tecnologías no se mide de manera física es que dependen de la red que las soporta. Esta red puede ser LoRaWAN, NB-IoT, 5G, Wi-Fi o cualquier otro tipo de conectividad.

Plataformas de datos y arquitecturas IoT

Plataformas comerciales

AWS IoT Core es una plataforma en la nube que permite conectar dispositivos IoT, recopilar la información generada por los sensores y gestionar los datos obtenidos durante las operaciones. Su función principal es facilitar la comunicación segura entre los dispositivos conectados y las aplicaciones digitales, permitiendo monitorear, administrar y analizar la información en tiempo real. En logística, esto la hace especialmente útil para telemetría de flotas, seguimiento de activos, monitoreo de cadena de frío y procesamiento de datos en tiempo real integrable con otros servicios de AWS. Casos recientes muestran su uso en logística de cadena de frío y seguimiento de flotas en tiempo real, donde se combina con capas de almacenamiento y visualización para explotar la telemetría operativa (Angadi et al., 2026).

Azure IoT Hub trabaja como un centro de mensajes tramitado para soluciones IoT en la nube. Microsoft lo concreta como un servicio central para la comunicación confiable y segura a escala, con soporte para mensajes dispositivo-cloud, carga de archivos, controles a distancia,

dispositivos gemelos y métodos directos; además, su sistema de enrutamiento de mensajes admite enviar telemetría a diferentes destinos como Event Hubs, Service Bus, Cosmos DB o Storage. En logística, estas capacidades se aprovechan para conectar sensores instalados en flotas, contenedores y almacenes con tableros de control, alertas automáticas, sistemas empresariales y gemelos digitales. La idea es que los datos no solo se recopilen, sino que también se procesen y se usen para tomar decisiones operativas más rápidas.

IBM Watson IoT Platform es una plataforma basada en la nube que permite conectar dispositivos IoT, recopilar información generada por sensores y analizar datos obtenidos en tiempo real. La plataforma facilita la comunicación entre dispositivos mediante protocolos como MQTT y HTTP, permitiendo gestionar equipos conectados y transmitir información hacia aplicaciones empresariales.

Dentro del ámbito logístico, las soluciones IoT de IBM pueden contribuir al monitoreo de activos, seguimiento de condiciones operativas y análisis de datos para mejorar la visibilidad de los procesos. Además, su integración con herramientas como IBM Maximo permite supervisar el estado de equipos y anticipar posibles fallas mediante análisis predictivo. Estas capacidades resultan relevantes para operaciones logísticas donde se requiere mayor control de activos, trazabilidad y toma de decisiones basada en información en tiempo real (IBM, 2026).

Plataformas de operadores logísticos y navieras

TradeLens fue una de las plataformas más conocidas para digitalización documental y visibilidad de comercio global, pero ya no está operativa. Maersk e IBM anunciaron su discontinuación en noviembre de 2022 y señalaron que la plataforma iría offline al cierre del primer trimestre de 2023 por falta de viabilidad comercial y de colaboración global suficiente. *TradeLens* dejó un antecedente importante para analizar cómo puede gestionarse la trazabilidad documental y el intercambio seguro de información en el comercio internacional. Sin embargo, conviene presentarla como una experiencia ya cerrada, no como una plataforma

vigente, porque su valor actual está más en lo que mostró sobre coordinación digital entre actores logísticos que en su uso operativo presente (Kjærgaard-Winther, 2022).

En cambio, DHL SmartSolutions IoT se plantea como una cartera activa de soluciones orientadas a mejorar la visibilidad de extremo a extremo en la cadena de suministro. Según DHL, sus herramientas permiten realizar seguimiento de activos, monitorear condiciones como temperatura y ubicación de la carga, generar alertas ante posibles incidencias y mejorar el control de mercancías sensibles, especialmente en sectores donde la cadena de frío y la seguridad del producto son factores críticos (Fuss, 2026; Wiebracht, 2026).

Asimismo, Kuehne + Nagel ha desarrollado plataformas digitales orientadas a incrementar la transparencia y el control de los envíos internacionales. Mediante herramientas como myKN, la empresa permite consultar información de transporte, gestionar documentos, monitorear el estado de las operaciones y acceder a datos relevantes para la toma de decisiones. Además, sus iniciativas de visibilidad avanzada buscan reducir la dependencia de procesos manuales y facilitar el acceso a información actualizada sobre la ubicación y condiciones de la carga durante el transporte (Kuehne+Nagel, 2026).

Capítulo III

Metodología

Enfoque de investigación

En el desarrollo de la presente investigación se optó guiarse por un enfoque cualitativo que toma como base la metodología de revisión documental, ya que esta se basa en: recopilación, revisión y análisis sistemático de información que proviene de fuentes bibliográficas científicas y también técnicas, enfocados en el contexto de la aplicación del IoT en la logística y transporte internacional. Por ello, este enfoque accede a la interpretación y análisis sobre el contenido de publicaciones académicas especializadas en el tema, con el propósito de identificar tendencias, tecnologías y aplicaciones documentalmente verídicas en literatura reciente y actual.

Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación es documental. De acuerdo con Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), menciona que las investigaciones documentales son principalmente caracterizadas por utilizar información obtenida de fuentes secundarias (interpretación de información de primera mano) para analizar fenómenos, teorías o problemáticas específicas mediante procedimientos organizados y sistemáticos. Una vez mencionado lo anterior, la presente investigación toma una orientación de análisis de literatura científica indexada y documentación técnica institucional vinculada con la gestión de la cadena de suministro global y las tecnologías IoT aplicadas al entorno logístico.

Del mismo modo, el estudio desarrollado en esta investigación, genera un alcance descriptivo, debido a que busca identificar, clasificar y describir las tecnologías más actuales o principales de la IoT, documentadas en la literatura científica entre 2021 y 2025, especialmente, como: sensores, dispositivos RFID, protocolos de comunicación y plataformas de datos

utilizadas en actividades semejantes a almacenamiento, transporte multimodal, monitoreo de mercancías, trazabilidad y gestión logística internacional.

A partir del punto de vista metodológico, esta investigación se apoya netamente en una bibliografía sistemática basada en: análisis de contenido, dicha técnica permite generar un análisis de manera organizada la información que se recupere de manera textual y científica con la finalidad de extraer categorías, patrones y hallazgos que sumen o sean relevantes para el desarrollo del objeto de estudio. Tomando como referencia, Rossi (2023), menciona que las revisiones bibliográficas sistemáticas, generan una facilidad en la organización y síntesis crítica del conocimiento científico existente mediante criterios concisos de búsqueda, selección y análisis del documental.

El periodo de análisis comprendió publicaciones científicas y técnicas elaboradas entre 2021 y 2026, considerando que dicho intervalo contuvo investigaciones relacionadas con la transformación: digital, logística 4.0 y tecnologías emergentes aplicadas a la cadena de suministros global. La delimitación temporal permitió a esta investigación enfocarse en literatura actualizada y alineada con las tendencias vigentes del comercio internacional y la digitalización logística.

Para concluir, el alcance temático de la investigación se centró objetiva y exclusivamente en aplicaciones IoT debido a que están vinculadas con la gestión con la cadena de suministro global, incluyendo: almacenamiento inteligente, transporte internacional, operaciones portuarias, trazabilidad logística, monitoreo de carga y automatización de procesos logísticos. Como tal, la consecuencia, se excluyeron investigaciones relacionadas con aplicaciones IoT separadas del ámbito logístico, tales como domótica, salud o ciudades inteligentes, debido a que no guardan relación directa con los objetivos planteados en el estudio.

Población y muestra

La población de la presente investigación estuvo constituida por la totalidad de documentos científicos relacionados con la aplicación del Internet de las Cosas (IoT) en la optimización de la logística y el transporte internacional, identificados mediante una búsqueda sistemática en bases de datos científicas y fuentes documentales especializadas. Hernández, Fernández y Baptista (2012) definen la población como el conjunto de elementos que presentan las características de interés para una investigación; en este estudio, la unidad de análisis estuvo conformada por artículos científicos, documentos técnicos e informes especializados de organismos internacionales como OECD, World Bank y UNCTAD sobre la temática investigada. Como resultado del proceso de búsqueda bibliográfica se identificó una población de 142 registros, obtenidos de Scopus (n = 63), Web of Science (n = 32), IEEE Xplore (n = 7), ScienceDirect (n = 13), SpringerLink (n = 5), MDPI (n = 5), SciELO (n = 16), OECD iLibrary (n = 1) y repositorios institucionales (n = 2), los cuales constituyeron el universo documental sobre el que se desarrolló el proceso de selección para la investigación (Hernández, Fernández y Baptista, 2012).

La muestra estuvo conformada por 40 documentos científicos seleccionados mediante un muestreo no probabilístico intencional o por criterios, considerando su pertinencia, calidad metodológica y relación con el objeto de estudio. El proceso de selección se desarrolló bajo las etapas del método PRISMA, iniciando con 142 registros, de los cuales se eliminaron 5 duplicados; posteriormente, se excluyeron 15 publicaciones por no cumplir con los criterios de período e idioma, quedando 122 documentos para evaluación de elegibilidad. Finalmente, se descartaron 82 estudios por presentar metodologías distintas o no relacionarse directamente con la investigación, obteniéndose 40 documentos como unidades de análisis para evaluar la contribución del Internet de las Cosas (IoT) en la optimización de la logística y el transporte internacional (Hernández, Fernández y Baptista, 2012).

Tabla 1*Bases de datos y organismos consultados*

Fuente	Tipo de información	Relevancia para la investigación
Scopus	Artículos científicos indexados	Literatura multidisciplinaria sobre IoT, logística y cadena de suministro global
Web of Science	Publicaciones científicas de alto impacto	Investigaciones con alto rigor académico sobre supply chain y transformación digital
IEEE Xplore	Artículos técnicos y conferencias	Estudios sobre protocolos IoT, sensores, redes y arquitecturas tecnológicas
ScienceDirect	Revistas científicas y capítulos de libros	Investigaciones sobre logística 4.0, automatización y gestión de operaciones
SpringerLink	Libros y artículos científicos	Estudios sobre innovación tecnológica, industria 4.0 y sistemas logísticos inteligentes
MDPI	Revistas científicas open access	Publicaciones recientes sobre IoT, sensores, sostenibilidad y logística digital
Scielo	Revistas científicas en español	Literatura regional sobre IoT y logística en América Latina
OECD iLibrary	Informes técnicos y económicos	Tendencias de transformación digital y desarrollo tecnológico
World Bank	Informes y estadísticas internacionales	Análisis de infraestructura, logística y competitividad global
UNCTAD	Reportes de comercio y transporte	Digitalización del comercio internacional y transporte marítimo
CEPAL	Estudios regionales	Transformación digital y logística en América Latina

Nota. En la tabla se mencionan todas las bases de datos consultadas para obtener los documentos fuentes necesarios para realizar la investigación, se detalla la relevancia que tiene cada fuente para el estudio.

Técnica e instrumento

Técnica

La técnica es el análisis de contenido el cual persigue recopilar y examinar la información para determinar sus características y aportes. La técnica de análisis de contenido es documental y trata de que investigador lee en profundidad cada fuente para determinar su pertinencia, extraer los elementos que puedan ayudar al alcanzar los objetivos de la investigación.

La búsqueda de información bibliográfica se realizó de manera sistemática y muy estructurada con el objetivo de seleccionar la literatura científica y técnica estrechamente relacionada con la aplicación del IoT en la logística y el transporte internacional. Es por eso que, se establecieron criterios claves de búsqueda que estuvieron encaminados a encontrar investigaciones relacionadas con dispositivos IoT, sensores inteligentes, RFID, protocolos de comunicación, plataformas de datos y tecnologías aplicadas a la gestión de la cadena de suministro.

La búsqueda se realizó mediante palabras clave, combinaciones de terminologías en español e inglés, esta búsqueda permitió ampliar el perímetro de resultados y mejorar la selección de documentos relevantes. De acuerdo con Snyder (2019), para lograr que las revisiones de literatura sean más claras y que otros investigadores puedan seguir el mismo camino., es necesario emplear métodos de búsqueda estructuradas, ya que este proceso ayuda a identificar y localizar los textos más relevantes de manera objetiva.

Con el objetivo de maximizar la relevancia de la información recolectada se utilizaron ecuaciones de búsqueda como “AND” y “OR” mismos que permiten entrelazar ejes temáticos importantes y para ampliar el espectro hacia términos equivalentes o sinónimos. Asimismo, se utilizaron comillas para delimitar expresiones compuestas y optimizar la precisión de búsqueda en las diferentes bases de datos consultadas.

Las principales cadenas de búsqueda utilizadas fueron las siguientes:

- En español: ("Internet de las Cosas" OR IoT) AND ("cadena de suministro" OR logística) AND (sensores OR RFID OR protocolos OR plataformas).
- En inglés: ("Internet of Things" OR IoT) AND ("supply chain management" OR logistics) AND (sensors OR RFID OR "communication protocols" OR platforms).

Adicionalmente, se utilizaron palabras clave adicionales relacionadas con tendencias recientes de digitalización logística y logística inteligente, entre ellas: “*smart logistics*”, “*logistics 4.0*”, “*real-time tracking*”, “*RFID logistics*”, “*digital supply chain*” e “*IoT-enabled transportation*”.

Criterios de inclusión y exclusión

Con el propósito de garantizar la pertinencia, calidad académica y confiabilidad de la información recopilada, se establecieron criterios de inclusión y exclusión orientados a delimitar el conjunto documental utilizado en la investigación. La definición de estos criterios permitió seleccionar literatura científica y técnica alineada con los objetivos del estudio, reduciendo la incorporación de información irrelevante o carente de rigor metodológico. La tabla 2 muestra los criterios de selección de la investigación.

Tabla 2

Criterios de inclusión y exclusión

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Publicaciones entre 2021–2026	Publicaciones anteriores a 2021
Artículos científicos <i>peer-reviewed</i>	Blogs y páginas no académicas
Literatura científica indexada	Noticias sin respaldo científico
Informes técnicos institucionales	Documentos sin validación técnica
Publicaciones en español e inglés	Publicaciones en otros idiomas no analizados

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Relación directa con IoT y logística	Investigaciones ajenas al ámbito logístico
Estudios sobre cadena de suministro global	Aplicaciones IoT fuera del contexto logístico

Nota. La tabla expone los criterios de inclusión y exclusión que se tomó en cuenta para la selección de los artículos que eran pertinentes para esta investigación.

Los criterios de inclusión determinaron publicaciones entre 2021 y 2026 con la finalidad de tomar referencia de las investigaciones más recientes en cuanto a la tecnología aplicada a la cadena logística considerando que se está trabajando con tecnología que suele innovarse prácticamente a diario, por lo cual las conclusiones que derivan de la presente investigación son las más actuales.

Instrumento

El instrumento utilizado fue una matriz de extracción de información, construida de forma progresiva a partir de los datos más relevantes para los objetivos de la investigación. La selección de documentos siguió un enfoque sistemático inspirado en la metodología PRISMA, con el fin de asegurar transparencia, trazabilidad y rigor en la identificación, revisión y depuración de las fuentes bibliográficas. Este proceso permitió reducir un conjunto inicial amplio hasta obtener un corpus final adecuado para el análisis.

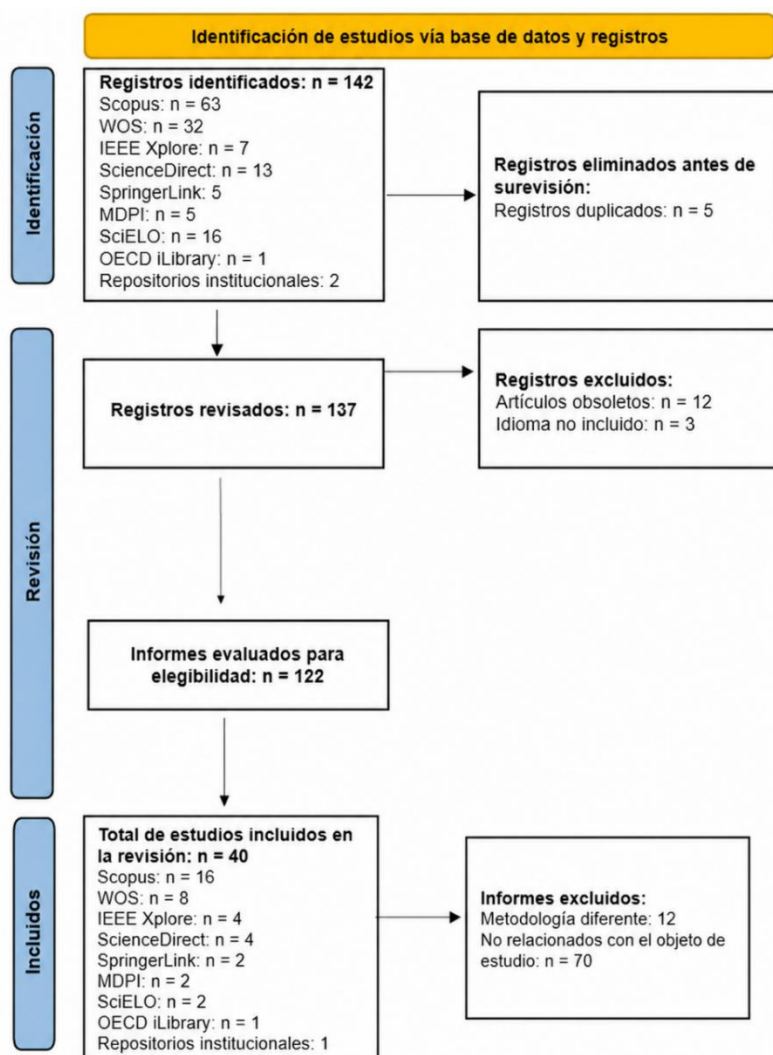
En la fase de identificación, se consultaron bases de datos científicas indexadas, como Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, ScienceDirect y SpringerLink, además de repositorios institucionales de organismos como OECD, World Bank, UNCTAD y CEPAL. A partir de esta búsqueda, se identificaron aproximadamente 142 registros relacionados con el uso de tecnologías IoT en la logística y la gestión de la cadena de suministro global. Luego, se eliminaron 5 documentos duplicados, por lo que el total se redujo a 137 registros únicos.

En la segunda fase, correspondiente a la revisión de títulos y resúmenes, se excluyeron 12 documentos por obsolescencia y 3 por ser de un idioma diferente de inglés o español,

quedando un total de 122 artículos. Posteriormente, en la fase de lectura completa, se excluyeron 12 documentos debido a falta de claridad metodológica o escasa aplicabilidad al contexto de la cadena de suministro global y 70 por insuficiencia de información relevante, obteniendo así una muestra final de 40 estudios. Así, se seleccionaron finalmente 40 artículos como base para la revisión bibliográfica, justificando su inclusión por su pertinencia temática, calidad científica e indexación en bases reconocidas. La figura 1 evidencia el diagrama PRISMA resultante del proceso de selección de los estudios.

Figura 1

Proceso de selección de artículos para la revisión sistemática



Nota. Figura que muestra el flujograma durante el proceso de selección de artículos.

Validación y confiabilidad del instrumento

La matriz de extracción documental fue diseñada en función de los objetivos de la investigación y de las categorías de análisis establecidas para la revisión bibliográfica. Su estructura permitió registrar de manera uniforme la información relevante de los estudios seleccionados, garantizando que los datos recopilados respondieran a los aspectos necesarios para el desarrollo de la investigación.

La validez del instrumento se sustentó en la correspondencia entre las categorías de análisis y los objetivos específicos del estudio, de modo que cada uno de los elementos incluidos en la matriz permitió recopilar información relacionada con las tecnologías IoT, sus aplicaciones en la logística y el transporte internacional, así como sus principales aportes a la gestión de la cadena de suministro.

En cuanto a la confiabilidad, esta se aseguró mediante la aplicación de una matriz de extracción documental estandarizada durante todo el proceso de revisión bibliográfica. Asimismo, se siguió un procedimiento sistemático para la búsqueda, selección, organización y análisis de la literatura científica, aplicando los mismos criterios de inclusión y exclusión a todas las fuentes consultadas. Esto permitió mantener la consistencia en el registro de la información, facilitar su comparación entre los diferentes estudios y fortalecer el análisis de la evidencia recopilada.

Tabla 3

Matriz de extracción documental (Sintetizada)

Autor (Año)	País	Tecnología IoT	Aplicación logística	Plataforma	Beneficios	Limitaciones	Hallazgos principales
Vasquez et al. (2023)	Perú	Sensores inteligentes, IoT (RFID, GPS)	Visibilidad y seguimiento en cadena global	-	Mejora eficiencia operativa, decisión inmediata, trazabilidad		Revisión global de tecnologías IoT en logística: sensores inteligentes y dispositivos de seguimiento mejoran procesos logísticos y permiten tomar decisiones más rápidas con mayor trazabilidad
Manugu & Gupta (2025)	Sudáfrica	RFID, sensores ópticos,	Coordinación proveedor-centrales	SAP (cloud)	Disminuyó 69 % paradas de línea; 32 % ahorro	—	Caso práctico en fábrica automotriz: integrar IoT

Autor (Año)	País	Tecnología IoT	Aplicación logística	Plataforma	Beneficios	Limitaciones	Hallazgos principales
		escáneres (IoT)	de ensamblaje		tiempo; rastreo eficaz		(sensores, RFID) con sistema SAP mejoró flujo logístico. Se redujo el tiempo en detención y mejoró la transparencia en la trazabilidad.
Núñez et al. (2024)	Colombia	IoT (genérico)	Cadena agroindustrial	–	Creciente interés en IoT para logística agrícola	–	El análisis bibliométrico revela que la integración del IoT en las cadenas de suministro agroindustriales es una tendencia global impulsada por la investigación

Autor (Año)	País	Tecnología IoT	Aplicación logística	Plataforma	Beneficios	Limitaciones	Hallazgos principales
							científica en India y China, lo que pone de manifiesto el crecimiento sostenido en el enfoque hacia la visibilidad, la eficiencia y la trazabilidad en la logística agrícola.
Yadav & Rani (2025)	India	Sensores IoT + analítica predictiva, IA, blockchain , edge	Rastreo en tiempo real, mantenimiento predictivo	–	+18.7 % entregas (Schneider); –40 % costos (Amazon)	Ciberseguridad, interoperabilidad , alto costo	La integración del IoT, la IA y la cadena de bloques en la industria (2023-2025) aumenta la visibilidad y reduce los costos como la reducción del 40

Autor (Año)	País	Tecnología IoT	Aplicación logística	Plataforma	Beneficios	Limitaciones	Hallazgos principales
							% de Amazon y la mejora del 18,7 % de Schneider Electric en la puntualidad de las entregas, si bien exige una estandarización e interoperabilidad urgentes.
Mohammed (2025)	EE. UU.	Sensores IoT (RFID, GPS), nube, big data	Visibilidad global, gestión de riesgos SCM	—	Disminuye plazos, mejora trazabilidad y cumplimiento	Seguridad, integración de datos, costos altos	El IoT, aplicado con sensores y computación en la nube, permite la monitorización continua de inventarios y envíos, reduciendo los tiempos de entrega y

Autor (Año)	País	Tecnología IoT	Aplicación logística	Plataforma	Beneficios	Limitaciones	Hallazgos principales
							mejorando la trazabilidad, la eficiencia operativa y la gestión de riesgos.
Zhang et al. (2025)	China	RFID (IoT específico)	Gestión digitalizada de inventario y trazabilidad	—	Aumento de transparencia y agilidad	Integración cultural/organizativa, costos e interoperabilidad	La adopción generalizada de RFID en la cadena de suministro mejora la visibilidad y la automatización del stock, pero requiere la armonización de los factores humanos y tecnológicos, alineando a la organización para

Autor (Año)	País	Tecnología IoT	Aplicación logística	Plataforma	Beneficios	Limitaciones	Hallazgos principales
							mitigar los desafíos relacionados con la privacidad y la rentabilidad.
Kumar et al. (2023)	India	IoT + Blockchain	Logística sostenible, trazabilidad verde	–	Seguridad en datos, confianza, trazabilidad ambiental	Vulnerabilidades IoT, privacidad, recursos limitados	Investigación predictiva: Combina IoT y blockchain en cadenas de suministro sostenibles, identificando 19 factores críticos (encabezados por la sostenibilidad, las tecnologías maduras y la innovación) para mejorar la integridad de los

Autor (Año)	País	Tecnología IoT	Aplicación logística	Plataforma	Beneficios	Limitaciones	Hallazgos principales
							datos y reducir la huella de carbono.
World Bank Group (2021)	Internacional	IoT, 5G, gemelos digitales, cloud	Puertos inteligentes, tráfico marítimo global	Ventana Única, PCS/PM S	+Eficiencia operativa, +resiliencia, +sostenibilidad	Marco legal, colaboración PÚ/PV, ciberataques	Los puertos inteligentes basados en IoT, 5G y automatización optimizan el tráfico y reducen las emisiones, recomendando interoperabilidad, ciberseguridad y capacitación técnica.
Albert (2024)	Nigeria	IoT sensores (temperatura,	Mantenimiento predictivo en buques y carga	—	–60 % paro de equipos, +25 % cumplimiento	Ciberseguridad, interoperabilidad, inversión inicial	Estudio de caso portuario: Demuestra que los sensores IoT en los motores

Autor (Año)	País	Tecnología IoT	Aplicación logística	Plataforma	Beneficios	Limitaciones	Hallazgos principales
		vibración), GPS			normativo (seguridad)		reducen el tiempo de inactividad mensual (de 50 a 20 horas) y aumentan el cumplimiento de las normas de seguridad (del 60 % al 85 %), aunque presentan desafíos de ciberseguridad.
Rahimi et al. (2024)	Irán	IoT (conectividad M2M)	Cadenas de suministro sostenibles	—	+Visibilidad, +eficiencia, +sostenibilidad	Seguridad IoT, brechas en CIUDADES inteligentes	Estudio bibliométrico (Sostenibilidad): Confirma que IoT es clave para la sostenibilidad integral (económica, social y

Autor (Año)	País	Tecnología IoT	Aplicación logística	Plataforma	Beneficios	Limitaciones	Hallazgos principales
							ambiental) en siete comunidades temáticas, proyectando la convergencia de IA e IoT para cadenas de suministro verdes.
Zaman et al. (2025)	EE. UU.	IoT (RFID, sensores, actuadores, drones, wearables)	Logística interna (almacén, gestión inventario)	AWS	+Productividad, +visibilidad (caso Amazon: WMS IoT)	Calidad de datos, seguridad, privacidad	Revisión bibliométrica (IoT+IA): Analiza 810 artículos sobre dispositivos clave (RFID, GPS, wearables) y destaca el caso de Amazon (WMS con AWS), señalando

Autor (Año)	País	Tecnología IoT	Aplicación logística	Plataforma	Beneficios	Limitaciones	Hallazgos principales
							problemas de datos y ciberseguridad.
Sallam et al. (2023)	Australia/Egipto	IoT (dispositivos con sensores)	Inventarios, seguimiento de activos, cadena fría	—	+Eficiencia, – Costos, +calidad del servicio	Seguridad, interoperabilidad, escalabilidad	Revisión exhaustiva: Detalla cómo el IoT revolucionó el almacenamiento, las cadenas de frío y el mantenimiento predictivo, destacando los beneficios de la optimización, pero también advirtiendo sobre las barreras de ciberseguridad e integración regulatoria.

Autor (Año)	País	Tecnología IoT	Aplicación logística	Plataforma	Beneficios	Limitaciones	Hallazgos principales
Taj et al. (2023).	Pakistán	IoT (GPS, NFC, RFID, sensores diversos)	Rastreo de envíos y gestión de activos	–	–Costos operativos, +eficiencia operativa	–	Primera revisión sistemática exhaustiva (2018-2022): Demuestra el uso generalizado de dispositivos (GPS, RFID/NFC) en la trazabilidad y la gestión de inventarios, mejorando la eficiencia y reduciendo errores.
Mejjaouli (2022)	Arabia Saudita	IoT (RFID, WSN inalámbrica, GPS)	Cadena de frío (alimentos perecederos)	–	–Pérdidas de carga, +costos y sostenibilidad ambiental	Simulación (falta prueba real)	Propuesta de sistema de apoyo a la decisión (productos perecederos): Utiliza sensores,

Autor (Año)	País	Tecnología IoT	Aplicación logística	Plataforma	Beneficios	Limitaciones	Hallazgos principales
							redes WSN y GPS para monitorizar la fruta en tránsito, minimizando las pérdidas, mejorando la eficiencia financiera y reduciendo el desperdicio de alimentos.
Varriale et al. (2021)	Italia	IoT (sensores), RFID, blockchain	Gestión de pedidos con eventos disruptivos	—	+Rapidez en gestión de pedidos (caso queso)	Modelo simulado; adopción inicial incipiente	Simulación (cadena de suministro de queso): Compara el modelo tradicional con el ecosistema IoT+RFID+blockchain,

Autor (Año)	País	Tecnología IoT	Aplicación logística	Plataforma	Beneficios	Limitaciones	Hallazgos principales
							demostrando que este último reduce los tiempos de gestión y mejora la resiliencia ante interrupciones.
Wang & Hsu (2025)	China	IoT (sensores in situ, 5G, analítica de datos)	Logística marítima (seguimiento de buques y carga)	–	+Eficiencia, – Costos, +Calidad de servicio	–	. Revisión en Discover IoT: Analiza las capas y los protocolos aplicados a la logística marítima con sensores y 5G para mejorar la precisión de las rutas y reducir el desperdicio.
Argyriou &	Grecia	IoT (dispositivos de	Seguridad de	–	+Automatización,	Riesgo ciberataques (p.ej. malware,	Marco de gestión de riesgos portuarios:

Autor (Año)	País	Tecnología IoT	Aplicación logística	Plataforma	Beneficios	Limitaciones	Hallazgos principales
Tsoutsos (2024)		monitoreo portuario)	operaciones portuarias		+Conectividad	accesos no autorizados)	Identifica que el IoT aumenta la eficiencia, pero introduce graves vulnerabilidades, y propone estrategias ORM (prevención, mitigación, transferencia) para fortalecer la infraestructura.

Nota. La información fue sintetizada a partir de estudios empíricos, revisiones sistemáticas, análisis bibliométricos y casos de aplicación sobre tecnologías IoT en logística, gestión de cadenas de suministro, puertos inteligentes, transporte marítimo, trazabilidad, mantenimiento predictivo y sostenibilidad.

Categorías de análisis

Para analizar la literatura seleccionada, se organizaron los estudios en categorías temáticas que facilitan clasificar e interpretar la información sobre el uso del IoT en la gestión de la cadena de suministro global. Estas categorías surgieron de la revisión teórica y de los temas más recurrentes identificados en la bibliografía.

En primer lugar, se consideraron los componentes tecnológicos del IoT. Aquí se incluyen dispositivos IoT, sensores y tecnologías RFID. Son la base para captar datos en tiempo real y permiten supervisar mercancías, condiciones ambientales y la ubicación de activos durante el transporte y almacenamiento.

También se examinó la infraestructura tecnológica y de comunicación. Esta categoría abarca protocolos, servicios en la nube y arquitecturas IoT, elementos que hacen posible el procesamiento de datos y la interoperabilidad entre sistemas a escala global. Además, se revisaron las principales aplicaciones del IoT en la cadena de suministro, como la trazabilidad, la gestión de inventarios, el transporte inteligente, la entrega de última milla y la monitorización en tiempo real.

Finalmente, se analizaron los desafíos tecnológicos identificados en la literatura. Entre ellos destacan los costos de implementación, los problemas de interoperabilidad, la seguridad de la información, la escalabilidad y la estandarización. La Tabla 4 presenta las categorías y subcategorías consideradas en el estudio.

Tabla 4*Categorías y subcategorías de análisis*

Categoría	Subcategorías
Dispositivos IoT	Dispositivos de rastreo, nodos inteligentes, dispositivos móviles
Sensores	Sensores de temperatura, humedad, ubicación (GPS), movimiento
RFID	Etiquetas RFID, lectores RFID, sistemas de identificación automática
Protocolos de comunicación	MQTT, CoAP, HTTP, LPWAN, 5G
Plataformas de datos	Cloud computing, Big Data, Edge computing, plataformas IoT
Arquitecturas IoT	Arquitectura en capas, edge–cloud, IoT distribuido
Aplicaciones logísticas	Trazabilidad, gestión de inventarios, transporte inteligente, monitoreo en tiempo real
Desafíos tecnológicos	Seguridad, interoperabilidad, costos, escalabilidad, estandarización

Nota. Tabla que muestra las Categorías y subcategorías de análisis.

Consideraciones éticas

La presente investigación se desarrolló respetando los principios éticos que orientan la investigación científica. Al tratarse de una investigación bibliográfica de carácter documental, cuya población estuvo conformada por 142 documentos científicos y cuya muestra por 40 estudios seleccionados mediante el protocolo PRISMA, no fue necesaria la participación de personas ni la recopilación de información de sujetos humanos. En consecuencia, no se requirió la aplicación de consentimiento informado ni de procedimientos relacionados con la confidencialidad o el anonimato.

La información analizada fue recopilada mediante una matriz de extracción documental, la cual permitió organizar y registrar de manera sistemática los datos relevantes de cada estudio seleccionado. Durante el proceso de búsqueda, selección, análisis e interpretación de la literatura se procuró mantener criterios de objetividad, honestidad intelectual y rigurosidad

metodológica, de manera que los resultados obtenidos reflejaran fielmente la evidencia científica disponible sobre la aplicación del Internet de las Cosas (IoT) en la optimización de la logística y el transporte internacional.

Asimismo, se respetaron los derechos de autor y la propiedad intelectual mediante la correcta citación y referenciación de todas las fuentes consultadas, haciendo uso de la información exclusivamente con fines académicos y de investigación. Finalmente, el estudio se desarrolló en el marco del proceso de titulación de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, bajo la dirección del docente tutor asignado y en cumplimiento de los lineamientos establecidos por la institución para la elaboración del trabajo de integración curricular.

Capítulo IV

Análisis y discusión de los resultados

Análisis de los dispositivos IoT, protocolos de comunicación y plataformas de datos utilizados en la logística internacional en la cadena de suministro internacional

En la logística internacional, lo que se utiliza con más frecuencia no es un solo sensor, sino un conjunto de herramientas. Esto incluye sensores, etiquetas, módulos de comunicación y una plataforma en la nube. Por ejemplo, en un caso de monitoreo de contenedores secos que se publicó en 2024, el dispositivo tiene varias funciones. Puede medir la temperatura, la humedad, la presión, el movimiento en tres ejes, detectar golpes y saber si una puerta se ha abierto. También tiene tecnología GNSS, BLE y conectividad NB-IoT. En otro caso, relacionado con la cadena de frío en un puerto, se utiliza una arquitectura que combina varias tecnologías. Esto incluye RFID, GPS, ZigBee, WSN y pasarelas GSM. Todo esto permite que las personas autorizadas tengan acceso en tiempo real a la información que necesitan. (Cil et al., 2022a; Falcitelli et al., 2024). Desde esta perspectiva, los sensores se pueden agrupar en dos grandes funciones logísticas: sensores de condición como los de temperatura, humedad, vibración o presión y sensores de seguridad/localización orientados al control de la apertura de puertas, movimiento y GPS. Esa separación es útil para analizar su aporte en transporte refrigerado, puertos, aduanas, almacenes, flotas y contenedores (Protopappas et al., 2025).

Aplicaciones por nodo logístico

El uso de sensores IoT se ha extendido a distintos puntos de la logística internacional. En el transporte refrigerado, los sensores de temperatura y humedad son indispensables para mantener la cadena de frío y preservar la calidad de los productos. En puertos y terminales, estas tecnologías se combinan con herramientas como GPS, RFID y redes inalámbricas para monitorear contenedores y mercancías sensibles en tiempo real, mientras que en los procesos aduaneros su aporte se orienta al control de accesos, la trazabilidad de la carga y la generación

de registros que respaldan las actividades de inspección y supervisión continua (Bolaños et al., 2022).

Los beneficios también son visibles en almacenes y operaciones de transporte. Diversas investigaciones muestran que estas tecnologías contribuyen a mejorar la gestión de inventarios, aumentar la visibilidad de las operaciones y reducir la dependencia de procesos manuales. Asimismo, en la gestión de flotas, los sistemas IoT permiten monitorear en tiempo real la ubicación y el estado de los vehículos, facilitando el seguimiento de rutas, el cumplimiento de los tiempos de entrega y una mejor coordinación de las operaciones logísticas. Por su parte, los contenedores han evolucionado desde soluciones de monitoreo aisladas hacia plataformas multisensor capaces de integrar información sobre ubicación, condiciones ambientales, aperturas y conectividad permanente en un mismo sistema (Bolaños et al., 2022; Jarašūnienė et al., 2023).

En conjunto, estas tecnologías están cambiando la forma de gestionar la logística internacional. Ya no se trata únicamente de rastrear mercancías. Lo que se observa es una transición hacia ecosistemas digitales conectados, donde la información circula en tiempo real entre almacenes, vehículos, contenedores, puertos y aduanas, permitiendo una operación más automatizada, visible y coordinada a lo largo de toda la cadena logística (Bolaños et al., 2022; Jarašūnienė et al., 2023).

Aplicaciones logísticas. La RFID se emplea en distribución, almacenamiento, fabricación y cadena de frío. En la industria farmacéutica, su uso se concentra en distribución (72,4 %) y almacenamiento (53,4 %), principalmente para inventario, trazabilidad y control de temperatura. También facilita la automatización de procesos de paletización y registro de mercancías (Crooks y Haddud, 2025; Bukova et al., 2023).

Ventajas frente al código de barras. La RFID identifica múltiples artículos simultáneamente y sin línea de visión directa. Esto reduce operaciones manuales, acelera los registros y mejora la trazabilidad de los productos (GS1 GO Customer Service Portal, 2026).

Tabla 5
Síntesis comparativa de sensores IoT

Tipo de sensor	Función	Aplicación logística	Beneficio
Temperatura y humedad	Medir condiciones térmicas y de vapor de agua	Transporte refrigerado, contenedores, puertos, almacenes	Evita ruptura de cadena de frío y deterioro
Vibración y golpes	Detectar aceleraciones, shock y maltrato	Contenedores, transporte multimodal, carga frágil	Reduce daños y facilita trazabilidad de incidencias
Apertura de puertas	Registrar apertura/cierre sin contacto	Contenedores, remolques, cámaras frías, almacenes	Refuerza seguridad y custodia
GPS	Localización satelital en tiempo real	Flotas, contenedores, carga de alto valor	Visibilidad de ruta, ETA y desvíos
Presión	Medir cambios físicos internos o mecánicos	Contenedores, mercancía sensible	Detecta alteraciones de integridad
Movimiento	Medir desplazamiento, orientación y aceleración	Contenedores, vehículos, almacenes	Genera alertas y mejora vigilancia

Nota. En la tabla se sintetizan los sensores ya descritos anteriormente, especificando el tipo de sensor, la función y su aplicación logística así como la fuente que sustenta sus usos y beneficios

Comparación funcional de dispositivos IoT

Los sensores IoT y la tecnología RFID representan dos de las herramientas más utilizadas en la digitalización de la cadena de suministro, debido a su capacidad para mejorar la visibilidad y trazabilidad de las operaciones logísticas. Sin embargo, aunque ambas tecnologías contribuyen al control y seguimiento de las mercancías, cumplen funciones diferentes. Los sensores IoT están orientados a la recopilación y transmisión de datos relacionados con variables físicas y ambientales, como temperatura, humedad, presión, vibración y movimiento, permitiendo monitorear las condiciones de la carga en tiempo real. Por otro lado, la tecnología RFID se enfoca en identificar y rastrear productos, activos y mercancías mediante radiofrecuencia. Por esta razón, la literatura reciente señala que ambas tecnologías suelen funcionar de forma complementaria dentro de los sistemas logísticos modernos (Abdulhussain et al., 2025).

La diferencia también se observa en el tipo de información que generan. Los sensores permiten conocer de manera continua el estado de la mercancía y de su entorno, aportando datos sobre condiciones de conservación, impactos o variaciones ambientales. La RFID, en cambio, destaca por identificar y localizar artículos específicos de forma rápida y automática, aunque no proporciona información sobre su condición física (Abdulhussain et al., 2025).

En términos de alcance y consumo energético, cada tecnología presenta características particulares. La RFID activa puede operar a mayores distancias gracias a su batería incorporada, mientras que la cobertura de los sensores depende de redes de comunicación complementarias, como Wi-Fi, LoRaWAN o NB-IoT. Además, la RFID pasiva es una de las alternativas más eficientes desde el punto de vista energético porque no requiere una fuente

propia de alimentación, a diferencia de los sensores IoT, que necesitan energía para realizar mediciones periódicas y transmitir datos en tiempo real (Abdulhussain et al., 2025; Purandare & Aliakbarian, 2023).

Las diferencias entre ambas tecnologías también se reflejan en sus costos de implementación y limitaciones operativas. La RFID pasiva suele ser una opción más económica para despliegues masivos, mientras que los sensores IoT requieren mayores inversiones asociadas al hardware, la conectividad y el mantenimiento. Además, la RFID puede verse afectada por interferencias provocadas por metales o líquidos, mientras que los sensores exigen calibración periódica, gestión energética e integración con plataformas de análisis de datos. Por ello, las cadenas de suministro más avanzadas no suelen elegir una tecnología sobre la otra. Las combinan. De esta manera, aprovechan la capacidad de identificación automática que ofrece la RFID y el monitoreo en tiempo real proporcionado por los sensores IoT (Abdulhussain et al., 2025; Purandare & Aliakbarian, 2023).

Comparación técnica de protocolos

En logística internacional, la comparación técnica de protocolos IoT suele dividirse entre LPWAN (LoRaWAN, NB-IoT y Sigfox), que priorizan alcance y bajo consumo, y protocolos de capa de aplicación (MQTT y CoAP), que optimizan el intercambio de mensajes sobre la red disponible. 5G, en cambio, aporta mayor capacidad y menor latencia para escenarios más exigentes.

Tabla 6

Síntesis comparativa de protocolos IoT

Protoc olo	Rango	Ancho de banda	Consum o energéti co	Aplicacio nes logísticas	Ventajas	Limitacio nes
LoRaW AN	Aproximada mente 2–5	Canales sub- GHz con	Muy bajo,	Seguimient o de	Gran cobertura,	Baja tasa de datos,

Protocolo	Rango	Ancho de banda	Consumo energético	Aplicaciones logísticas	Ventajas	Limitaciones
	km en ciudad y 10–15 km en zonas rurales; el alcance depende del plan regional y del entorno.	configuraciones regionales de 125/250/500 kHz.	está pensado para nodos a batería y optimización de energía.	activos, monitoreo de almacenes, cadena de frío, patios logísticos.	bajo costo operativo, buena autonomía.	latencia mayor y capacidad limitada en redes densas.
NB-IoT	Cobertura amplia sobre red celular; útil en interiores y zonas difíciles.	180 kHz ; datos hasta aprox. 200 kbps downlink y 20 kbps uplink en la revisión consultada.	Bajo , incorpora mecanismos como PSM/eDRX y puede operar por años.	Contenedores, sensores estacionarios, medidores, telemetría remota.	Buena penetración, cobertura licenciada, fiabilidad celular.	Menor flexibilidad para movilidad continua y dependencia del operador.
5G	Cobertura dependiente del despliegue; 3GPP distingue bandas <1 GHz, 1–6 GHz y >6 GHz.	Hasta 100 MHz por portadora en <6 GHz y hasta 400 MHz en bandas altas.	Más alto que LPWAN , se usa cuando importan capacidad, baja latencia y servicios intensivos en datos.	Puertos, flotas conectadas, automatización en tiempo real, vídeo y computación de borde.	Muy baja latencia, alta densidad de dispositivos, segmentación de red.	Infraestructura más costosa y mayor complejidad energética y operativa.
Sigfox	En promedio, 10 km en urbano y 40 km en rural .	Mensajes de 100 Hz y tasas de 100 o 600 bps según región.	Muy bajo , orientado a mensajes pequeños y	Alertas, rastreo simple de activos, sensores con pocos envíos diarios.	Alcance amplio, coste reducido, consumo mínimo.	Muy poca carga útil, baja flexibilidad y cobertura regional limitada.

Protocolo	Rango	Ancho de banda	Consumo energético	Aplicaciones logísticas	Ventajas	Limitaciones
			esporádicos.			
MQTT	No tiene alcance físico propio: depende de la red subyacente.	Protocolo ligero de publicar/suscribirse con sobrecarga baja, pero sobre TCP .	Bajo, aunque suele consumir más que CoAP por el uso de TCP.	Telemetría, alertas, integración con nube y tableros logísticos.	Simple, fiable, muy extendido en IoT empresarial.	Requiere <i>broker</i> y conexión TCP persistente.
CoAP	No tiene alcance físico propio, pues depende de la red subyacente.	Muy ligero; opera sobre UDP y está pensado para nodos restringidos.	Muy bajo, suele ser más eficiente en entornos restringidos.	Sensores de borde, nodos de bajo recurso, integración REST.	Menor <i>overhead</i> , simple, eficiente para mensajes pequeños.	La fiabilidad y la seguridad exigen configuración adicional.

Nota. En la tabla se evidencia una síntesis de los protocolos IoT sus características y aplicaciones logísticas, así como sus ventajas y limitaciones con el fin de evidenciar las diferencias entre una y otra, facilitando su análisis para los diferentes usos. Cada protocolo se acompaña de la fuente que soporta la información que se plantea.

Limitaciones. Los costos de implementación constituyen una de las principales barreras para la adopción de la tecnología RFID, ya que no se limitan a la adquisición de etiquetas, sino que incluyen lectores, antenas, software, middleware, integración con sistemas empresariales como ERP, WMS y TMS, además de capacitación y mantenimiento. Asimismo, su desempeño puede verse afectado por factores físicos como superficies metálicas, presencia de líquidos y una orientación inadecuada de las etiquetas. A estas limitaciones se suman los desafíos de interoperabilidad entre sistemas y la resistencia organizacional al cambio durante

su implementación. Por ello, las organizaciones suelen priorizar aplicaciones donde la información generada representa un mayor valor operativo, como la gestión de inventarios, la distribución farmacéutica y el monitoreo de productos con condiciones específicas de almacenamiento, como la cadena de frío (Crooks y Haddud, 2025). Por otro lado, en los sensores de apertura de puertas una de sus principales limitaciones es que únicamente registran si la puerta se encuentra abierta o cerrada, sin aportar información sobre la persona que realizó la apertura ni las razones de esta. Por ello, su uso suele complementarse con sistemas de geolocalización y plataformas de registro de eventos que permiten un seguimiento más detallado de las operaciones logísticas (Abdulhussain et al., 2025; Falcitelli et al., 2024).

La limitación relevante en la práctica en cuanto al GPS es la dependencia de conectividad y de integración con el sistema de telemetría para que la posición llegue en tiempo real a la plataforma de decisión. Esto se observa indirectamente en los casos revisados, donde la información GPS se combina con NB-IoT, GSM, 3G/4G/5G o LAN para garantizar la transmisión continua de datos (Abdulhussain et al., 2025).

En los sensores de movimiento su eficacia depende en gran medida de la configuración del sistema, ya que estos sensores registran aceleración y orientación de manera continua y pueden interpretar movimientos rutinarios como eventos anómalos si no se aplican filtros adecuados y umbrales de detección correctamente definidos (Jarašūnienė et al., 2023).

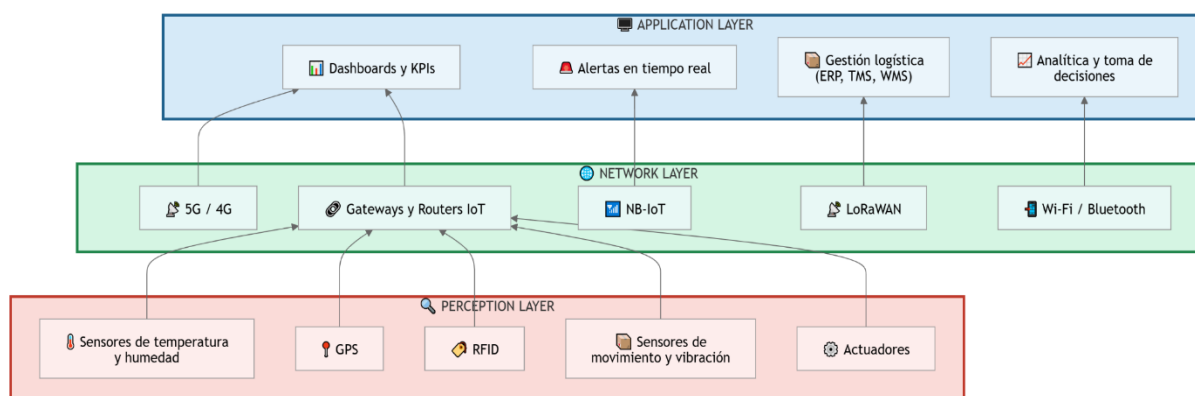
Arquitectura IoT de tres capas

La arquitectura de tres capas sigue siendo el esquema más básico y extendido en la literatura IoT reciente. Está compuesta por la capa Percepción, capa de red y aplicación. La primera capta datos desde sensores, RFID, GPS o actuadores; la segunda transporta esos datos por redes y puertas de enlace; y la tercera convierte la información en servicios, tableros, alertas o acciones de negocio. En logística, este modelo resulta útil para representar el flujo

simple de datos desde el contenedor o el vehículo hasta la plataforma de monitoreo (Choudhary, 2024; Moucharraf et al., 2026).

Figura 2

Arquitectura IoT de tres capas aplicada a la cadena de suministro logística internacional



Nota. Figura elaborada en la plataforma Mermaid que muestra la arquitectura IoT organizada en tres capas que trabajan de manera integrada.

Arquitectura IoT de cinco capas

La arquitectura IoT de cinco capas surge como respuesta a sistemas cada vez más complejos, donde ya no basta con capturar y transmitir datos, sino que también se necesita procesarlos, analizarlos y conectarlos con decisiones empresariales. Por eso, este modelo amplía la arquitectura tradicional de tres capas y organiza el flujo de información desde la recolección inicial hasta su uso estratégico en la organización. Sus componentes son Percepción, Transporte, Procesamiento, Aplicación y Negocio, cada uno con una función específica dentro del ecosistema IoT (Choudhary, 2024; Moucharraf et al., 2026).

Capa de percepción. Constituye el nivel físico de la arquitectura IoT. Está integrada por sensores, etiquetas RFID, dispositivos GPS, actuadores y otros elementos encargados de recopilar información del entorno. Su función principal consiste en identificar objetos, detectar eventos y capturar variables físicas como temperatura, humedad, vibración, movimiento o ubicación geográfica. En logística inteligente, esta capa permite monitorear mercancías,

vehículos, contenedores y almacenes en tiempo real. Por ejemplo, sensores de temperatura pueden supervisar productos farmacéuticos durante el transporte refrigerado, mientras que dispositivos GPS permiten conocer la ubicación exacta de una flota de distribución (Choudhary, 2024; Moucharraf et al., 2026).

Capa de transporte. Se encarga de transmitir los datos recopilados por la capa de percepción hacia los sistemas de procesamiento y almacenamiento. Para ello utiliza diferentes tecnologías de comunicación, como Wi-Fi, Bluetooth, LoRaWAN, NB-IoT, Sigfox, redes celulares 4G/5G y protocolos de comunicación como MQTT o CoAP. En el ámbito logístico, esta capa garantiza la conectividad entre sensores distribuidos globalmente y las plataformas centrales de gestión. Gracias a ella, la información generada en puertos, centros de distribución, vehículos o almacenes puede enviarse de forma continua y segura hacia la nube para su análisis posterior (Choudhary, 2024; Moucharraf et al., 2026).

Capa de procesamiento. Esta capa se encarga de almacenar, procesar y analizar los datos generados por los dispositivos IoT. Para ello, utiliza plataformas en la nube, bases de datos, sistemas Big Data, inteligencia artificial y herramientas analíticas que permiten convertir grandes volúmenes de información en datos útiles para la operación. En logística internacional, ayuda a detectar patrones, anticipar retrasos, optimizar rutas, gestionar inventarios y generar alertas automáticas, además de integrar información de fabricantes, operadores logísticos, navieras y clientes para mejorar la coordinación de la cadena de suministro (Choudhary, 2024; Moucharraf et al., 2026).

Capa de aplicación. En esta capa, la información procesada se convierte en servicios concretos para las organizaciones. Aquí se ubican los sistemas de gestión logística, tableros de control, plataformas de monitoreo en tiempo real, ERP, TMS, WMS y aplicaciones móviles de seguimiento. En la logística inteligente, permite visualizar la cadena de suministro, rastrear productos, controlar inventarios y gestionar incidencias desde una misma plataforma, con

información actualizada para tomar decisiones operativas más rápidas y precisas (Choudhary, 2024; Moucharraf et al., 2026).

Capa de negocio: Esta es la parte estratégica de la arquitectura IoT, porque transforma la información del sistema en indicadores, decisiones y mejoras organizacionales. En la cadena de suministro, permite evaluar tiempos de entrega, costos logísticos, nivel de servicio, productividad y sostenibilidad. También apoya la planificación, la gestión de riesgos y la mejora continua mediante análisis predictivo e inteligencia artificial aplicada al negocio (Choudhary, 2024; Moucharraf et al., 2026).

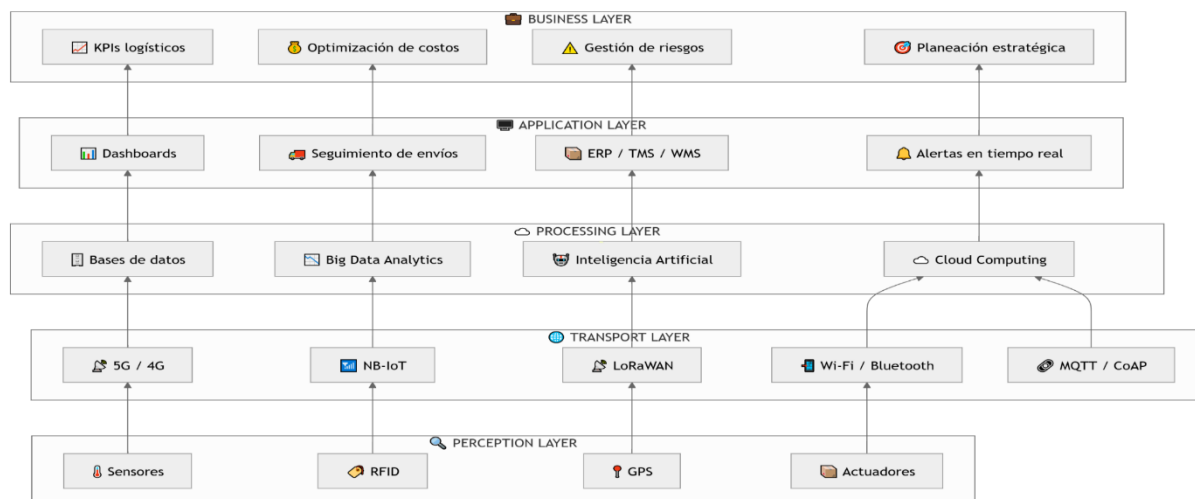
Diferencias respecto al modelo de tres capas

La diferencia principal está en el nivel de detalle. El modelo de tres capas, compuesto por percepción, red y aplicación, ofrece una visión básica del flujo de datos. En cambio, la arquitectura de cinco capas añade procesamiento y negocio, lo que permite explicar mejor el almacenamiento, el análisis avanzado, el uso de IA y la toma de decisiones estratégicas. Esta ampliación resulta clave en entornos logísticos complejos, donde grandes cantidades de datos deben convertirse en información útil para la gestión empresarial (Choudhary, 2024; Moucharraf et al., 2026).

Aplicación en logística inteligente: En una cadena de suministro global, la arquitectura de cinco capas permite ordenar todo el proceso digital: los sensores y dispositivos RFID capturan datos sobre ubicación y estado de la mercancía, la información se transmite mediante tecnologías como 5G, LoRaWAN o NB-IoT, luego se almacena y analiza en plataformas *cloud* con Big Data e IA, se presenta en sistemas de monitoreo y gestión logística, y finalmente se usa para optimizar operaciones, reducir costos y mejorar el desempeño general de la cadena de suministro (Choudhary, 2024; Moucharraf et al., 2026).

Figura 3

Arquitectura IoT de cinco capas aplicada a la cadena de suministro



Nota. Figura elaborada en la plataforma Mermaid que muestra la arquitectura IoT de cinco capas aplicada a la cadena de suministro.

Tendencias, desafíos y vacíos identificados en la literatura

Tendencias tecnológicas

Una de las tendencias más claras es el avance hacia *smart logistics*, entendida como una logística conectada y basada en datos en tiempo real. Este modelo combina herramientas como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial, el análisis de grandes volúmenes de datos (Big Data) y los sistemas ciberfísicos, permitiendo una mayor automatización, visibilidad y capacidad de respuesta dentro de la cadena de suministro. En este contexto, el IoT cumple un papel fundamental al generar los datos necesarios para que otros sistemas digitales puedan analizar la información y apoyar la toma de decisiones logísticas (Haman et al., 2025; Iftikhar et al., 2024).

La automatización impulsada por la inteligencia artificial y el Internet de las Cosas (IoT) permite la monitorización de procesos en tiempo real, la toma de decisiones rápida y la reducción del trabajo manual, garantizando que el inventario, el transporte y la distribución

operen en perfecta sincronización (Roman et al., 2025). Cuatro tendencias tecnológicas principales contribuyen a esto:

- **Sistemas en la nube:** La combinación de IoT con software empresarial basado en la nube mejora la conectividad global y permite que múltiples empresas compartan instantáneamente la misma información, aunque requiere una conexión a internet estable y una mayor seguridad de los datos (Haman et al., 2025; Iftikhar et al., 2024).
- **Inteligencia artificial aplicada a IoT:** El uso masivo de datos ayuda a optimizar la visibilidad, la productividad y la sostenibilidad de las operaciones (Haman et al., 2025; Iftikhar et al., 2024).
- **Análisis predictivo:** Esto permite pasar de medidas reactivas a la anticipación de problemas mediante modelos inteligentes que pronostican la demanda, detectan fallos con antelación y facilitan la toma de decisiones en la logística internacional (Roman et al., 2025).
- **Gemelos digitales:** Se trata de réplicas virtuales que permiten simular escenarios, probar rutas y evaluar estrategias logísticas en un ordenador antes de implementarlas en el mundo real, mejorando la agilidad y la capacidad de respuesta ante imprevistos (Roman et al., 2025).

Desafíos de implementación

A pesar de estos avances, la adopción del IoT en la cadena de suministro se enfrenta a importantes desafíos. El primero es la ciberseguridad, ya que la transformación digital exige proteger la información sensible, bloquear el acceso no autorizado y asegurar los dispositivos, las plataformas en la nube y los sistemas frente a vulnerabilidades (Samuels, 2025; Zaman et al., 2025). A esto se suma la falta de interoperabilidad, puesto que la amplia variedad de equipos, protocolos y plataformas crean barreras para la integración de datos y el

mantenimiento de la continuidad operativa, lo que da lugar a silos de información (Samuels, 2025; Zaman et al., 2025).

Asimismo, los costos de implementación continúan siendo una limitación para muchas organizaciones, especialmente para aquellas con menor nivel de digitalización. La adopción del IoT requiere inversiones relacionadas con sensores, infraestructura tecnológica, conectividad, software y mantenimiento, lo que puede representar una barrera inicial para su incorporación (Samuels, 2025; Zaman et al., 2025).

La digitalización logística no depende solo de incorporar tecnología. También exige que las organizaciones desarrollen nuevas competencias técnicas y adapten sus procesos internos, porque sin personal capacitado y estructuras preparadas, el impacto sobre el desempeño logístico se reduce considerablemente (Roman et al., 2025). A esto se suma la protección de datos como un reto transversal, ya que el volumen de información generado en las cadenas globales complica la gobernanza, la privacidad y el intercambio seguro entre los distintos actores del sistema logístico (Zaman et al., 2025b).

Vacíos identificados en la literatura

Una de las brechas más notables es la escasez de estudios en América Latina, donde la producción científica regional sigue siendo muy limitada —con apenas unas pocas docenas de artículos recientemente catalogados—, lo que deja un amplio margen para generar evidencia empírica contextualizada (Jabbour y Teixeira, 2024; Valenzuela-Cobos et al., 2025). Esto se ve agravado por una marcada fragmentación temática, ya que gran parte de la literatura analiza las tecnologías de forma aislada o como un bloque indistinto, en lugar de estudiar sus efectos combinados, lo que dificulta la creación de marcos integrados para el uso conjunto de IoT, inteligencia artificial y sistemas en la nube (Wu et al., 2025).

Además, persiste la falta de estandarización, lo que dificulta la escalabilidad y la interoperabilidad entre diferentes sistemas y proveedores (Roman et al., 2025; Samuels, 2025).

Finalmente, la investigación carece de suficientes estudios comparativos que evalúen el desempeño individual de cada tecnología según el tipo de operación, el sector o el tamaño de la empresa, lo que limita el conocimiento sobre qué herramienta se adapta mejor a cada necesidad logística (Jabbour y Teixeira, 2024; Valenzuela-Cobos et al., 2025).

Síntesis de los hallazgos

La literatura confirma que IoT opera como un ecosistema inteligente donde convergen sensores, conectividad, computación en la nube, inteligencia artificial y análisis para mejorar la trazabilidad y la toma de decisiones. La tendencia central identificada es el cambio de una gestión basada en la reacción ante problemas hacia modelos más predictivos, donde la información generada en tiempo real permite anticipar riesgos, optimizar recursos y fortalecer la resiliencia logística.

Sin embargo, a pesar de los avances tecnológicos, la adopción del IoT a gran escala todavía enfrenta desafíos relacionados con la ciberseguridad, los costos de implementación, la interoperabilidad entre sistemas, la disponibilidad de infraestructura tecnológica y la gestión adecuada de los datos. Además, la literatura muestra vacíos que justifican nuevas investigaciones, especialmente por la limitada evidencia empírica en América Latina, la dispersión de los estudios existentes y la falta de marcos estandarizados que permitan comparar resultados de manera más consistente.

Análisis de relación y matriz de aplicación del IoT en la cadena de suministro internacional

A partir de los hallazgos desarrollados en la primera parte de esta investigación, donde se identificaron las principales tecnologías IoT, dispositivos, plataformas y arquitecturas aplicadas a la logística inteligente, en esta sección se procede a realizar un análisis de relación orientado a la cadena de suministro internacional. Este análisis vincula los mecanismos del IoT con las distintas etapas logísticas (abastecimiento, almacenamiento, transporte, distribución y

entrega) con la meta de demostrar cómo cada tecnología favorece a la generación de valor operativo. Así, se establece una matriz de aplicación que hace confluir sensores, protocolos de comunicación, redes y plataformas de datos, proporcionando la comprensión del rol del IoT en la optimización de la trazabilidad, eficiencia y toma de decisiones dentro de entornos globales de la logística (Jabbour y Teixeira, 2024; Valenzuela-Cobos et al., 2025).

Proceso para el análisis de relación

Para la construcción de la matriz de relación entre el IoT y la cadena de suministro internacional, se adoptó una metodología de tipo descriptivo–analítico basada en el análisis de contenido de literatura científica. Este proceso parte de la clasificación tecnológica desarrollada en la metodología, la cual incluye sensores IoT, tecnología RFID, protocolos de comunicación, plataformas de datos y arquitecturas IoT, con el fin de establecer su correspondencia funcional dentro de las etapas logísticas.

Preliminarmente, se revisaron los 40 artículos seleccionados mediante el protocolo PRISMA de la metodología de este estudio, los cuales constituyen la base empírica del estudio. A partir de esta revisión, se retomó la información contenida en la columna “Aplicación logística” de la matriz de extracción documental (Tabla 3 del Capítulo III), identificando de manera sistemática en qué contextos logísticos se aplica cada tecnología, tales como transporte, almacenamiento, distribución, gestión de inventarios, monitoreo de flotas y operaciones portuarias.

Más adelante, se analizaron los artículos y se clasificaron las partes importantes de la información. Esto se hizo según las diferentes etapas de la cadena de suministro internacional, como cuando se busca algo, cuando se almacena, cuando se transporta, cuando se distribuye y cuando se entrega. Gracias a este proceso, se pudo ver claramente cómo las tecnologías de Internet de las cosas se relacionan con cada una de estas etapas y qué beneficios prácticos

traen, como poder rastrear las cosas, reducir costos, ver lo que pasa en tiempo real y mejorar cómo se hacen las cosas.

Al final, se organizó toda la información en una tabla hecha en Word, donde se ve cómo las tecnologías de Internet de las cosas se relacionan con cada parte de la cadena de suministro y cómo se usan, según lo que dice la literatura. Esta tabla es importante porque permite ver de manera clara y completa cómo se usa Internet de las cosas en la logística internacional, y se basa solo en hechos reales y comprobados, sin suposiciones.

Es importante aclarar, que, durante la búsqueda de artículos pertinentes para la investigación, se hallaron publicaciones electrónicas avanzadas (2026) con una alta calidad metodológica y que fueron relevantes para el tema, por lo cual, *a posteriori*, se decidió incluirlas.

Tabla 7*Relación entre tecnologías IoT y etapas de la cadena de suministro internacional*

Etapas de la cadena de suministro	Tecnología IoT aplicada	Función específica en la etapa	Beneficio documentado	Fuente(s) bibliográfica(s)
Abastecimiento	GPS IoT	Rastreo de materias primas desde origen	Mayor visibilidad upstream	(Metvaei et al., 2025; Rejeb et al., 2020; Vasquez et al., 2023)
	LoRaWAN	Comunicación en zonas rurales	Reducción de costos de monitoreo	(Bonilla et al., 2023b; Chapungo y Postolache, 2025; Garcia et al., 2025; Khairullah et al., 2025; Orlovs et al., 2025)
	NB-IoT	Seguimiento de contenedores iniciales	Trazabilidad continua	(Jiang et al., 2024; Kandasamy et al., 2025; Orlovs et al., 2025; Ugwuanyi et al., 2021)
	Cloud IoT	Integración con proveedores	Digitalización del suministro	(Mohammed, 2025; Sallam et al., 2023)
	RFID	Identificación de materias primas	Control de entradas	(Manugu y Gupta, 2025; Seoane et al., 2021; Vasquez et al., 2023)
Almacenamiento	RFID UHF	Gestión automática de inventario	Reducción de errores	(Seoane et al., 2021; Y. Zhang et al., 2025)
	Sensor temperatura	Control de cadena de frío	Reducción de pérdidas	(Cil et al., 2022; Müller et al., 2026; Protopappas et al., 2025)
	Sensor humedad	Condiciones ambientales	Conservación de productos	(Aguiar et al., 2022; Lamberty y Kreyenschmidt, 2022; Liu et al., 2026)

Etapas de la cadena de suministro	Tecnología IoT aplicada	Función específica en la etapa	Beneficio documentado	Fuente(s) bibliográfica(s)
	Cloud platforms	Gestión WMS/ERP	Optimización logística	(He et al., 2024; Kam et al., 2026; Yang et al., 2025)
	AI + IoT	Análisis de inventarios	Optimización de stock	(Radhakrishnan, 2025; Tsolakis et al., 2022; Yadav y Rani, 2025; Zaman et al., 2025)
Transporte	GPS IoT	Tracking de flotas	Optimización de rutas	(Albert, 2024; Metvaei et al., 2025b)
	5G	Comunicación en tiempo real	Baja latencia	(Albert, 2024; Biswas et al., 2023a)
	MQTT	Transmisión de datos	Comunicación eficiente	(Jara Ochoa et al., 2023; Kegenbekov y Saparova, 2022; Seoane et al., 2021)
	Sensor vibración	Detección de golpes	Reducción de daños	(Albert, 2024; Hassan et al., 2024; Orlovs et al., 2025)
	NB-IoT	Tracking continuo	Visibilidad global	(Mohammed, 2025; Ugwuanyi et al., 2021)
Transporte refrigerado	Sensor temperatura	Control térmico	Reducción deterioro	(Albert, 2024; Cil et al., 2022)
	Sensor humedad	Control ambiental	Conservación carga	(Albert, 2024; Mohamed et al., 2026)
Transporte marítimo	AIS + IoT	Seguimiento barcos	Trazabilidad global	(Kumar et al., 2023; L. Wang y Hsu, 2025)

Etapas de la cadena de suministro	Tecnología IoT aplicada	Función específica en la etapa	Beneficio documentado	Fuente(s) bibliográfica(s)
Transporte aéreo	RFID	Control de carga aérea	Reducción pérdidas	(AL-Shboul, 2024; Bottani et al., 2024)
Aduanas	RFID UHF	Inspección automática	Reducción tiempos	(Crooks y Haddud, 2025)
	Sensor apertura	Detección de intrusión	Seguridad logística	(Falcitelli et al., 2024)
	Blockchain IoT	Validación documental	Transparencia	(Cao y Zheng, 2024; Carpio, 2025)
Distribución	AI + IoT	Predicción entregas	Optimización logística	(Radhakrishnan, 2025; Tsolakis et al., 2022; Yadav y Rani, 2025; Zaman et al., 2025)
	Digital Twin	Simulación logística	Mejora decisiones	(Ivanov y Gusikhin, 2026; Xiros et al., 2025)
	Cloud analytics	Análisis en tiempo real	Visibilidad total	(Stefanovic et al., 2025; Zhao et al., 2023)
	IoT dashboards	Control de operaciones	Mejor toma de decisiones	(Kandasamy et al., 2025; Q. Zhang et al., 2024)
Última milla	5G	Entregas urbanas	Reducción tiempos	(Biswas et al., 2023b; Dubey et al., 2025; Zhou et al., 2024)
	GPS IoT	Optimización rutas	Eficiencia operativa	(M.-C. Chen y Ho, 2021; T. Wang et al., 2022)

Etapas de la cadena de suministro	Tecnología IoT aplicada	Función específica en la etapa	Beneficio documentado	Fuente(s) bibliográfica(s)
Gestión portuaria	NB-IoT	Tracking paquetes	Trazabilidad cliente	(Orlovs et al., 2025)
	Edge computing	Procesamiento local	Respuesta en tiempo real	(Anees et al., 2023; T.-C. T. Chen y Lin, 2025; Massari et al., 2025)
	IoT sensors	Monitoreo de carga	Eficiencia portuaria	(Cil et al., 2022)
Logística inversa	5G	Automatización portuaria	Baja latencia	(Biswas et al., 2023; Dubey et al., 2025; Zhou et al., 2024)
	RFID	Control de contenedores	Reducción errores	(Seoane et al., 2021)
Seguridad logística	IoT tracking	Seguimiento retornos	Optimización devoluciones	(C. Zhang y Wei, 2022)
	Cloud IoT	Gestión devoluciones	Mejor control	(Zaman et al., 2025)
	AI analytics	Predicción retornos	Reducción costos	(Shen y Lin, 2026; Xiros et al., 2025)
	Sensor vibración	Detección manipulación	Reducción robos	(Orlovs et al., 2025)
	GPS IoT	Rastreo activo	Mayor control	(M.-C. Chen y Ho, 2021; T. Wang et al., 2022)
	IoT blockchain	Trazabilidad segura	Integridad de datos	(Yadav y Rani, 2025)

Nota. Tabla que muestra la relación entre tecnologías IoT y etapas de la cadena de suministro internacional.

Análisis descriptivo de la matriz

El análisis matricial demuestra que el IoT no se implementa de forma uniforme, sino que su uso se adapta según la etapa logística y la criticidad de la información, transformando la cadena de suministro en una red inteligente que mejora la trazabilidad, la eficiencia y la resiliencia (Rejeb et al., 2020; Tsolakis et al., 2022; Mohammed, 2025).

Específicamente en la fase de aprovisionamiento, el GPS con IoT garantiza el seguimiento continuo de rutas y envíos, reduciendo la incertidumbre y mejorando la coordinación inicial entre proveedores y fabricantes (Metvaei et al., 2025; Rejeb et al., 2020; Vasquez et al., 2023). Dada la limitada infraestructura de telecomunicaciones en áreas rurales, mineras o agrícolas, LoRaWAN destaca por permitir la transmisión de datos a larga distancia con bajo consumo de energía y costos reducidos (Bonilla et al., 2023b; Chapungo y Postolache, 2025; Garcia et al., 2025; Khairullah et al., 2025; Orlovs et al., 2025). Complementariamente, NB-IoT garantiza conectividad ininterrumpida y altamente eficiente en energía para contenedores y unidades de carga durante períodos prolongados (Jiang et al., 2024; Kandasamy et al., 2025; Orlovs et al., 2025; Ugwuanyi et al., 2021). Finalmente, las plataformas IoT basadas en la nube actúan como un centro neurálgico al centralizar información de múltiples proveedores, sincronizarla con sistemas ERP y automatizar la planificación colaborativa (Mohammed, 2025; Sallam et al., 2023).

Finalmente, la tecnología RFID complementa esta fase al identificar automáticamente cada lote de materia prima mediante etiquetas electrónicas que almacenan información única sobre el producto. Los lectores RFID registran el ingreso de materiales sin necesidad de contacto visual directo, disminuyendo errores humanos, acelerando los procesos de recepción y mejorando el control documental desde el inicio de la cadena logística (Manugu y Gupta, 2025; Seoane et al., 2021; Vasquez et al., 2023).

En los centros de distribución, la tecnología RFID UHF y los sensores de temperatura y humedad automatizan el control de inventario y protegen los productos sensibles, mientras que la nube y la inteligencia artificial unifican los datos para anticipar la demanda (Seoane et al., 2021; Cil et al., 2022; Radhakrishnan, 2025). Durante el transporte internacional, el GPS, el 5G, el NB-IoT y el protocolo MQTT garantizan el seguimiento continuo y la transmisión de datos ligera, con el apoyo de los sistemas AIS en el sector marítimo y los sensores térmicos para mantener la cadena de frío (Albert, 2024; Biswas et al., 2023a; Kumar et al., 2023).

En los procesos aduaneros, la identificación por radiofrecuencia (RFID) acelera las inspecciones de carga, mientras que la tecnología *blockchain* preserva la integridad de los registros mediante mecanismos de trazabilidad y validación distribuida, lo que limita las posibilidades de fraude documental (Crooks y Haddud, 2025; Cao y Zheng, 2024). En la etapa de distribución, la inteligencia artificial contribuye a la planificación dinámica de rutas, los gemelos digitales permiten modelar distintos escenarios logísticos y la computación perimetral procesa datos cerca de su origen para responder con rapidez a incidentes durante la entrega de última milla (Ivanov y Gusikhin, 2026; Anees et al., 2023). Por su parte, las operaciones portuarias incorporan sensores, redes 5G y sistemas RFID para coordinar grúas automatizadas y vehículos autónomos, favoreciendo una gestión más ágil del flujo de contenedores en las terminales marítimas (Cil et al., 2022; Biswas et al., 2023).

En logística inversa, el seguimiento mediante IoT y las plataformas en la nube optimizan las devoluciones de productos y centralizan el control administrativo, mientras que el análisis mediante IA ayuda a predecir las devoluciones y reducir los costes. Asimismo, en el ámbito de la seguridad, los sensores de vibración y el GPS garantizan una monitorización constante y la protección contra robos o daños; una trazabilidad que se complementa con la tecnología *blockchain* para garantizar la inmutabilidad de los datos y la confianza a lo largo de toda la cadena de suministro internacional.

Tecnología IoT más transversal y más especializada

A partir de la matriz elaborada, se observa que las tecnologías transversales son aquellas que aparecen en múltiples etapas de la cadena de suministro, especialmente los sensores IoT (temperatura, humedad, vibración y GPS) y la tecnología RFID. Estas soluciones están presentes en etapas como almacenamiento, transporte, distribución y aduanas, debido a que su función principal es la captura e identificación de datos en tiempo real. Su transversalidad se explica porque constituyen la base del ecosistema IoT, permitiendo la digitalización de los objetos físicos sin depender de un proceso logístico específico (Jara et al., 2023; Kegenbekov y Saparova, 2022; Seoane et al., 2021).

Por otro lado, las tecnologías más especializadas son aquellas vinculadas a funciones puntuales, como *Constrained Application Protocol* (CoAP, protocolo de comunicación diseñado específicamente para dispositivos con recursos limitados dentro del Internet de las Cosas), que aparece principalmente en contextos de comunicación eficiente en dispositivos de baja capacidad, o ciertos usos de gemelos digitales, que se concentran en la etapa de distribución para simulación y optimización de escenarios. Esta especialización se debe a que estas tecnologías no actúan directamente sobre la captura de datos, sino sobre su procesamiento o transmisión en contextos específicos donde se requiere eficiencia o modelado avanzado (Rejeb et al., 2020; Tsolakis et al., 2022; Mohammed, 2025).

Comparación funcional del GPS y RFID en almacén vs. transporte

El GPS y el RFID pasivo presentan diferencias funcionales significativas según la etapa logística en la que se utilicen. En el contexto de almacén, el RFID se utiliza principalmente para la identificación rápida de productos, control de inventario y verificación de entradas y salidas, permitiendo una gestión automatizada del stock sin intervención manual. En esta etapa, su función es estática y centrada en la precisión del registro (Albert, 2024; Mohamed et al., 2026).

Durante el transporte internacional, la RFID ofrece trazabilidad punto a punto en los puntos de control, mientras que el GPS proporciona un seguimiento continuo de la ubicación, convirtiéndose en un facilitador clave de la visibilidad en tiempo real que se complementa con la RFID en secciones discretas de la cadena (Albert, 2024; Mohamed et al., 2026).

Patrones de aplicación tecnológica

El análisis muestra que las tecnologías más utilizadas son los sensores IoT, GPS, RFID y protocolos como LoRaWAN, NB-IoT y 5G, que conforman la infraestructura central para la captura y transmisión de datos. Por el contrario, tecnologías como CoAP y los gemelos digitales se utilizan con menos frecuencia en etapas de simulación complejas o avanzadas (como la planificación y la distribución). Esto demuestra una adopción jerárquica en logística: primero se implementan la conectividad y la captura de datos, seguidas del análisis y la simulación (Biswas et al., 2023; Dubey et al., 2025; Zhou et al., 2024).

Relaciones más relevantes y rol de los protocolos de comunicación

Las combinaciones más documentadas integran sensores IoT en el transporte y el almacenamiento, y RFID en el almacenamiento y las aduanas, debido a su impacto en la eficiencia y el control de inventario (Jara et al., 2023; Kegenbekov y Saparova, 2022; Seoane et al., 2021). Además, protocolos como LoRaWAN y NB-IoT permiten la conectividad a larga distancia, 5G impulsa operaciones portuarias y flotas de baja latencia, y MQTT garantiza una transmisión de datos eficiente y en tiempo real a la nube (Jara et al., 2023; Kegenbekov y Saparova, 2022; Seoane et al., 2021).

Contribución del IoT a la integración de la cadena de suministro

El IoT integra vínculos previamente aislados (proveedores, fabricantes, transportistas y aduanas), eliminando la fragmentación y la dependencia de procesos manuales mediante la comunicación continua (Rejeb et al., 2020; Tsolakis et al., 2022). Mediante dispositivos GPS, RFID y redes 5G, se comparte información sobre la ubicación y el estado de la carga en tiempo

real, lo que permite detectar incidentes y prevenir daños antes de que ocurran (Mohammed, 2025; Sallam et al., 2023). Plataformas en la nube como AWS y Azure, junto con soluciones de operadores logísticos, centralizan y procesan esta gran cantidad de datos para sincronizar la producción, el transporte y el inventario (He et al., 2024; Kam et al., 2026). Esto da lugar a cadenas de suministro digitales y conectadas, basadas en una visibilidad total de extremo a extremo que optimiza la eficiencia y la capacidad de respuesta ante eventos imprevistos (Rejeb et al., 2020; Tsolakis et al., 2022; Mohammed, 2025).

Síntesis de hallazgos

El análisis matricial muestra que los sensores, la RFID y los protocolos de comunicación concentran la mayor presencia dentro de la cadena de suministro internacional, debido a su capacidad para captar, intercambiar y actualizar datos durante las diferentes etapas del flujo logístico. Los resultados evidencian que el IoT no funciona bajo un único esquema tecnológico, sino mediante configuraciones adaptadas a los requerimientos operativos de cada eslabón de la cadena; mientras algunas herramientas respaldan las actividades logísticas habituales, otras responden a necesidades más específicas, como ocurre con los gemelos digitales y los protocolos de comunicación ligeros empleados en entornos que demandan simulación avanzada, análisis predictivo o procesamiento de grandes volúmenes de datos en tiempo real. En este sentido, la integración continua entre sensores, canales de comunicación y plataformas de datos permite generar visibilidad operativa sobre mercancías, activos y procesos logísticos, transformando la información recopilada en insumos estratégicos para la planificación y la toma de decisiones dentro de la cadena de suministro.

Discusión

La literatura coincide en que el IoT está transformando la cadena de suministro internacional, pero su enfoque principal es objeto de debate: mientras que algunos priorizan la infraestructura de captura de datos (como RFID, GPS y sensores), otros argumentan que su

verdadero valor reside en la integración analítica a través de la nube y la inteligencia artificial (Seoane et al., 2021; Tsolakis et al., 2022; Mohammed, 2025).

En trazabilidad, la RFID permite el control automatizado en puntos específicos, mientras que el GPS facilita el seguimiento de mercancías durante el transporte (Seoane et al., 2021; Albert, 2024).

Los protocolos de comunicación también varían según el entorno. LoRaWAN predomina en zonas rurales por su bajo consumo energético; 5G se utiliza con mayor frecuencia en áreas urbanas y portuarias debido a su baja latencia; y NB-IoT aparece como una alternativa adecuada para el monitoreo de contenedores (Chapungo y Postolache, 2025; Biswas et al., 2023; Ugwuanyi et al., 2021).

La literatura reciente muestra otro cambio. El interés ya no se concentra únicamente en la conectividad, sino también en la analítica predictiva y las plataformas en la nube para gestionar y aprovechar los datos generados por el IoT (Rejeb et al., 2020; Radhakrishnan, 2025; Kam et al., 2026).

Los sensores y la RFID mantienen una adopción extendida. En cambio, los gemelos digitales y la cadena de bloques siguen evaluándose en aplicaciones concretas y todavía enfrentan barreras de implementación (Ivanov y Gusikhin, 2026; Cao y Zheng, 2024). La evidencia revisada indica que los mejores resultados provienen de la integración entre sensores, redes de comunicación, plataformas en la nube y herramientas de inteligencia artificial. Persisten, sin embargo, desafíos asociados con la interoperabilidad, la ciberseguridad, la estandarización de protocolos y los costos de adopción de soluciones IoT avanzadas.

Limitaciones para la implementación del IoT en las diferentes etapas de la cadena de suministro

La literatura revisada asocia el Internet de las Cosas con mejoras operativas en la cadena de suministro internacional, aunque su implementación todavía enfrenta restricciones

técnicas, económicas y organizacionales que varían según la actividad logística y el entorno de aplicación. La adopción de estas tecnologías no depende solo de su disponibilidad.

También intervienen otros factores. Entre ellos se encuentran la infraestructura de comunicaciones, la capacidad de inversión de las empresas y el nivel de integración de los sistemas de información utilizados en la gestión logística (Rejeb et al., 2020; Tsolakis et al., 2022).

Una de las principales limitaciones se presenta durante las etapas de abastecimiento y transporte en zonas rurales o remotas, donde la cobertura de redes móviles convencionales resulta insuficiente para garantizar la transmisión continua de datos. A pesar de sus beneficios, la adopción del IoT en la cadena logística enfrenta barreras como la dependencia de la infraestructura local para tecnologías como LoRaWAN y NB-IoT, y los altos costos de inversión para plataformas integrales para las PYMES (Chapungo y Postolache, 2025; Mohammed, 2025). Los desafíos de interoperabilidad persisten debido a la diversidad de sistemas y formatos entre los actores de la cadena de suministro, así como al aumento de los riesgos de ciberseguridad debido a una mayor exposición de datos (Rejeb et al., 2020; Cao y Zheng, 2024). Finalmente, existe un retraso y una adopción desigual de tecnologías avanzadas como gemelos digitales e inteligencia artificial en comparación con herramientas básicas, lo que demuestra que la madurez digital varía según el contexto económico y la infraestructura disponible (Ivanov y Gusikhin, 2026; Xiros et al., 2025).

Capítulo V

Conclusiones

El análisis de la literatura muestra que el IoT impulsa la digitalización y la automatización de la logística y el transporte internacional mediante el uso de datos en tiempo real. Su aplicación va más allá de la conexión entre dispositivos.

La integración de sensores, tecnologías de identificación, protocolos de comunicación, plataformas en la nube e inteligencia artificial permite optimizar la gestión de la cadena de suministro, porque esta integración mejora la trazabilidad de los productos, aumenta la visibilidad de las operaciones, facilita la coordinación entre los diferentes actores y fortalece la capacidad de respuesta rápida ante cambios o interrupciones.

Las aplicaciones más frecuentes se concentran en la monitorización de activos. También incluyen el control de inventarios, el seguimiento de mercancías, la supervisión de condiciones ambientales para productos sensibles, la optimización de rutas, la gestión de la seguridad y el análisis predictivo para apoyar la toma de decisiones logísticas.

Asimismo, la revisión permitió establecer que la arquitectura tecnológica del IoT está conformada por una estructura jerárquica integrada por dispositivos de captura de datos (sensores, GPS y RFID), protocolos de comunicación (MQTT, LoRaWAN, NB-IoT y 5G), plataformas de procesamiento en la nube (Cloud IoT), herramientas de análisis basadas en inteligencia artificial y aplicaciones empresariales que convierten la información en conocimiento útil para la gestión logística. Esta arquitectura evidencia que el desempeño del IoT depende de la integración funcional de todos sus componentes y no del funcionamiento aislado de una tecnología específica.

La evidencia revisada muestra que las tecnologías IoT se aplican de forma distinta en cada etapa de la cadena de suministro internacional, según las necesidades operativas de cada proceso. Algunas soluciones tienen un uso transversal.

GPS, RFID y sensores de temperatura, humedad o vibración aparecen en abastecimiento, almacenamiento, transporte, distribución, logística inversa y actividades de seguridad. Por su parte, otras tecnologías desempeñan funciones más específicas dentro de la cadena de suministro, los gemelos digitales se utilizan para simular procesos en la logística; la cadena de bloques facilita la gestión documental; la computación perimetral permite procesar los datos locales; y ciertos protocolos especializados para la comunicación entre dispositivos con recursos limitados.

Estos hallazgos muestran que la adopción de tecnologías es heterogénea y responde a las necesidades de cada organización, en vez de implementar una sola solución, las empresas integran herramientas complementarias para optimizar sus operaciones, fortalecer la trazabilidad y mejorar la visibilidad de la cadena de suministro de inicio a fin.

Recomendaciones

Dado que los sensores, la tecnología RFID y los protocolos de comunicación dominan el panorama actual, se recomienda realizar estudios empíricos y revisiones sistemáticas que midan con precisión su impacto real en la trazabilidad, la eficiencia y la reducción de costos en diferentes escenarios. Además, dado que el IoT se adapta a cada eslabón de la cadena de suministro, es necesario promover la investigación sectorial que identifique las soluciones más adecuadas para cada modo de transporte, al tiempo que se estudian herramientas emergentes como los gemelos digitales y los protocolos ligeros para evaluar su verdadera contribución en entornos reales.

La revisión bibliográfica evidenció que, a pesar que el IoT ofrece múltiples beneficios para la logística internacional, su implementación todavía presenta varios retos. Los estudios

coinciden en señalar que la interoperabilidad entre sistemas, la estandarización de protocolos, la ciberseguridad, la calidad de los datos y los costos de implementación siguen siendo los principales retos, en especial para las empresas medianas y pequeñas. A ello se suma que la disponibilidad de infraestructura tecnológica tiene que ver directamente en las posibilidades de implementar estas soluciones.

Considerando estos aspectos identificados, se recomienda analizar la viabilidad de implementar soluciones de IoT en entornos con menor desarrollo digital, tomando en cuenta los aspectos técnicos y económicos. De la misma manera, es importante considerar estrategias de incorporación progresiva que permitan a las empresas medianas y pequeñas acceder a estas tecnologías sin que los costos sean una limitación significativa.

Otra línea de estudio se relaciona con la integración de tecnologías emergentes. La combinación de computación de borde, cadena de bloques e inteligencia artificial ofrece posibilidades para mejorar la protección frente a ciberataques y la sincronización de datos entre distintos actores de la cadena. También existe interés en desarrollar estudios de caso sectoriales y analizar el desempeño de los contenedores inteligentes para medir su efecto sobre la sostenibilidad y la eficiencia operativa de la cadena de suministro internacional.

REFERENCIAS

- Abdulhussain, S. H., Mahmmod, B. M., Alwhelat, A., Shehada, D., Shihab, Z. I., Mohammed, H. J., Abdulameer, T. H., Alsabah, M., Fadel, M. H., Ali, S. K., Abbood, G. H., Asker, Z. A., y Hussain, A. (2025). A Comprehensive Review of Sensor Technologies in IoT: Technical Aspects, Challenges, and Future Directions. *Computers*, 14(8), 342.
<https://doi.org/10.3390/computers14080342>
- Aguiar, M. L., Gaspar, P. D., Silva, P. D., Domingues, L. C., y Silva, D. M. (2022). Real-Time Temperature and Humidity Measurements during the Short-Range Distribution of Perishable Food Products as a Tool for Supply-Chain Energy Improvements. *Processes*, 10(11), 2286. <https://doi.org/10.3390/pr10112286>
- Ahmed, S., Kalsoom, T., Ramzan, N., Pervez, Z., Azmat, M., Zeb, B., y Ur Rehman, M. (2021). Towards Supply Chain Visibility Using Internet of Things: A Dyadic Analysis Review. *Sensors*, 21(12), 4158. <https://doi.org/10.3390/s21124158>
- Albert, E. C. (2024). Enhancing Efficiency and Safety in Maritime Transport Operations through IoT-Enabled Predictive Maintenance and Real Time Monitoring. *International Journal of Advances in Engineering and Management*, 06(12), 299-305.
<https://doi.org/10.35629/5252-0612299305>
- Albrecht, T., Baier, M.-S., Gimpel, H., Meierhöfer, S., Röglinger, M., Schlächtermann, J., y Will, L. (2024). Leveraging Digital Technologies in Logistics 4.0: Insights on Affordances from Intralogistics Processes. *Information Systems Frontiers*, 26(2), 755-774.
<https://doi.org/10.1007/s10796-023-10394-6>
- AL-Shboul, M. A. (2024). RFID technology usage and supply chain global positioning information sharing system: An enablers of manufacturing enterprises' supply chain performance-fresh insights from the Middle East region as developing countries. *THE*

ELECTRONIC JOURNAL OF INFORMATION SYSTEMS IN DEVELOPING COUNTRIES,
90(2), e12304. <https://doi.org/10.1002/isd2.12304>

Anees, T., Habib, Q., Al-Shamayleh, A. S., Khalil, W., Obaidat, M. A., y Akhunzada, A. (2023).
The Integration of WoT and Edge Computing: Issues and Challenges. *Sustainability*,
15(7), 5983. <https://doi.org/10.3390/su15075983>

Angadi, L., Liao, Z., y Huang, Z. (2026, enero 14). Real-time fleet tracking using AWS IoT Core,
Amazon S3 Tables, and Amazon Quick Sight | AWS Storage Blog.
[https://aws.amazon.com/blogs/storage/real-time-fleet-tracking-using-aws-iot-core-
amazon-s3-tables-and-amazon-quick-sight/](https://aws.amazon.com/blogs/storage/real-time-fleet-tracking-using-aws-iot-core-amazon-s3-tables-and-amazon-quick-sight/)

Argyriou, I., y Tsoutsos, T. (2024). Assessing Critical Entities: Risk Management for IoT Devices
in Ports. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(9), 1593.
<https://doi.org/10.3390/jmse12091593>

Balza, F., Cardona, D., & Romero, Z. (2022). Econocmia de Costos de Transaaccion. Una
Perspectiva Teòrica Para La Investigaciòn En Gestìon De Operaciones Y Cadena De
Suministro. *Revista de la Facultad de Ciencias Econòmicas y Empresariales*, 22(1),
296-309. <https://doi.org/https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/face/article/view/1494>

Biswas, S., Sanyal, A., Božanić, D., Puška, A., y Marinković, D. (2023a). Critical Success
Factors for 5G Technology Adaptation in Supply Chains. *Sustainability*, 15(6), 5539.
<https://doi.org/10.3390/su15065539>

Bolaños, C., Rojas, B., Salazar-Cabrera, R., Ramírez-González, G., Pachón de la Cruz, Á., y
Madrid Molina, J. M. (2022). Fleet management and control system for developing
countries implemented with Intelligent Transportation Systems (ITS) services.
Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, 16, 100694.
<https://doi.org/10.1016/j.trip.2022.100694>

- Bonilla, V., Campoverde, B., y Yoo, S. G. (2023a). A Systematic Literature Review of LoRaWAN: Sensors and Applications. *Sensors*, 23(20), 8440.
<https://doi.org/10.3390/s23208440>
- Bormann, C., Shelby, Z., Bormann, C., y Shelby, Z. (2016). Block-Wise Transfers in the Constrained Application Protocol (CoAP) (No. Rfc7959). Article rfc7959.
<https://doi.org/10.17487/RFC7959>
- Bottani, E., Correale, S., Rizzi, A., Stefanini, R., y Vezzani, L. (2024). How RFID technology enables the supply chain and retail 4.0: A survey with Italian stakeholders. *International Journal of RF Technologies*, 14(2), 125-150. <https://doi.org/10.3233/RFT-230062>
- Bukova, B., Tengler, J., Brumerickova, E., Brumerick, F., y Kissova, O. (2023). Environmental Burden Case Study of RFID Technology in Logistics Centre. *Sensors*, 23(3), 1268.
<https://doi.org/10.3390/s23031268>
- Caciano, M., Horna, M., López, M., Solano, L., Vasquez, A., & Gonzalez, J. (2023). Tecnologías Del Internet De Las Cosas Aplicadas En La Cadena De Suministro. Una Revisión Sistemática. *Revista de Gestión de Operaciones Industriales Universidad Nacional de Trujillo de Perú*, 8(26), 8-16. <https://doi.org/https://doi.org/10.17268/goi4.0.2023.01>
- Cao, Q., y Zheng, X. (2024). Application of Artificial Intelligence Technology in the Supervision of Customs Clearance Machine Inspection. *World Customs Journal*, 18(2).
<https://doi.org/10.55596/001c.122754>
- Carpio, T. A. G. (2025). Aduanas inteligentes y sostenibles: Innovación tecnológica y su relación con el desarrollo humano. *Revista Internacional de Desarrollo Humano y Sostenibilidad*, 2(2), 11-35. <https://doi.org/10.51660/ridhs22324>

- Chapungo, N. J., y Postolache, O. (2025). Experimental Evaluation of LoRaWAN Connectivity Reliability in Remote Rural Areas of Mozambique. *Sensors*, 25(19), 6027.
<https://doi.org/10.3390/s25196027>
- Chen, M.-C., y Ho, P. H. (2021). Exploring technology opportunities and evolution of IoT-related logistics services with text mining. *Complex y Intelligent Systems*, 7(5), 2577-2595.
<https://doi.org/10.1007/s40747-021-00453-3>
- Chen, T.-C. T., y Lin, C.-W. (2025). Feasibility of a clouds and edge computing scheme for internal due date assignment in advanced manufacturing systems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 136(5), 2893-2908.
<https://doi.org/10.1007/s00170-024-14980-z>
- Choudhary, A. (2024). Internet of Things: A comprehensive overview, architectures, applications, simulation tools, challenges and future directions. *Discover Internet of Things*, 4(1), 31. <https://doi.org/10.1007/s43926-024-00084-3>
- Cil, A. Y., Abdurahman, D., y Cil, I. (2022). Internet of Things enabled real time cold chain monitoring in a container port. *Journal of Shipping and Trade*, 7(1), 9.
<https://doi.org/10.1186/s41072-022-00110-z>
- Crooks, K., y Haddud, A. (2025). Using Radio Frequency Identification (RFID) Technology in the Pharmaceutical Supply Chain: The Impact on Competitive Advantage. *Sustainability*, 17(4), 1378. <https://doi.org/10.3390/su17041378>
- Diane, A., Diallo, O., y Ndoeye, E. H. M. (2025). A systematic and comprehensive review on low power wide area network: Characteristics, architecture, applications and research challenges. *Discover Internet of Things*, 5(1), 7. <https://doi.org/10.1007/s43926-025-00097-6>

- Dubey, M., Singh, A. K., y Mishra, R. (2025). AI Based Resource Management for 5G Network Slicing: History, Use Cases, and Research Directions. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 37(2), e8327. <https://doi.org/10.1002/cpe.8327>
- Dzankic, R., Jemberu, E. A., Bauk, S., y Hilmola, O.-P. (2026). Experimenting with Smart Containers and Blockchain: A New Frontier for Data Security. *Applied Sciences*, 16(6), 2669. <https://doi.org/10.3390/app16062669>
- Dziedzic, A., Wójcik, S., Gierczak, M., Bernik, S., Brguljan, N., Reinhardt, K., y Körner, S. (2024). Planar Thermoelectric Microgenerators in Application to Power RFID Tags. *Sensors*, 24(5), 1646. <https://doi.org/10.3390/s24051646>
- Falcitelli, M., Misal, Noto, S., y Pagano, P. (2024). Development of a Multi-Radio Device for Dry Container Monitoring and Tracking. *IoT*, 5(2), 187-211. <https://doi.org/10.3390/iot5020010>
- Freire, G. D. G., y Reyes, G. M. Á. (2024). Transformación digital en la logística: Un análisis bibliográfico de la influencia de las tecnologías de la información en la industria 4.0 y el desarrollo web. *Revista Imaginario Social*, 7(1). <https://doi.org/10.59155/is.v7i1.154>
- Fuss, C. (2026). DHL SmartSensor. *Dhl.Com*. <https://www.dhl.com/de-en/home/innovation-in-logistics/innovation-in-action/dhl-smartsensor.html>
- Garcia, A. F., Souza, W. L. de, y Pires, L. F. (2025). A LoRaWAN Multi-Network Server Application for Smart Cold Chain Tracking in Remote Areas. *Proceedings of the 27th International Conference on Enterprise Information Systems, ICEIS 2025*, 1049-1060. <https://doi.org/10.5220/0013211600003929>
- González Duque, J. A. (2023). El Internet de las Cosas (IoT), la Ciudad Inteligente(SmartCity) y el Medio Ambiente. *Actas de las V Jornadas ScienCity 2022: Fomento de la Cultura Científica, Tecnológica y de Innovación en Ciudades Inteligentes*, 2023, ISBN 9798375732176, págs. 58-61, 58-61. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8975824>

GS1. (2026). EPC® Radio-Frequency Identity Generation-2 UHF RFID Standard.

<https://ref.gs1.org/standards/gen2/>

GS1 GO Customer Service Portal. (2026). What is the difference between low, high, and ultra-high frequencies? <https://support.gs1.org/support/solutions/articles/43000734278-what-is-the-difference-between-low-high-and-ultra-high-frequencies->

Haman, S., Ben Abdelouahab, A., El Bouzekri El Idrissi, Y., Merzouk, S., y Moumen, A. (2025). Supply Chain in the Age of Industry 4.0: A Literature Review. *Logistics*, 9(4), 173.

<https://doi.org/10.3390/logistics9040173>

Hassan, I. U., Panduru, K., y Walsh, J. (2024). An In-Depth Study of Vibration Sensors for Condition Monitoring. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 24(3), 740.

<https://doi.org/10.3390/s24030740>

He, J., Fan, M., y Fan, Y. (2024). Digital transformation and supply chain efficiency improvement: An empirical study from a-share listed companies in China. *PLOS ONE*, 19(4), e0302133. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0302133>

Hernández-Sampieri, R., y Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta (2018.a ed.). Mc Graw Hill Education.

<https://virtual.cuautitlan.unam.mx/rudics/?p=2612>

IBM. (2026). IoT y Blockchain for Cargo Monitoring. <https://www.ibm.com/think/topics/iot-blockchain-for-cargo-monitoring>

Iftikhar, A., Ali, I., Arslan, A., y Tarba, S. (2024). Digital Innovation, Data Analytics, and Supply Chain Resiliency: A Bibliometric-based Systematic Literature Review. *Annals of Operations Research*, 333(2), 825-848. <https://doi.org/10.1007/s10479-022-04765-6>

Iorga, I., Popa, C. L., Popescu, C.-A., Chiscop, F., Dobrescu, T. G., y Cotet, C. E. (2026). Automatic Inventory of Wiring Harness Components Using UHF RFID Technology. *Logistics*, 10(2), 33. <https://doi.org/10.3390/logistics10020033>

- ISO. (2026). ISO/IEC 18000-65:2026(en), Information technology—Radio frequency identification for item management—Part 65: Parameters for air interface communications for streaming sensors based on ISO/IEC 18000-63.
<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:18000:-65:ed-1:v1:en>
- Ivanov, D., y Gusikhin, O. (2026). Supply chain digital twin design and implementation at scale: A case study at the Ford Motor Company and generalizations. *Omega*, 139, 103447.
<https://doi.org/10.1016/j.omega.2025.103447>
- Jabbour, C. J. C., y Teixeira, A. A. (2024). Supply Chain Management in Latin America. En *The Palgrave Handbook of Supply Chain Management* (pp. 111-133). Palgrave Macmillan, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-19884-7_85
- Jara Ochoa, H. J., Peña, R., Ledo Mezquita, Y., Gonzalez, E., y Camacho-Leon, S. (2023). Comparative Analysis of Power Consumption between MQTT and HTTP Protocols in an IoT Platform Designed and Implemented for Remote Real-Time Monitoring of Long-Term Cold Chain Transport Operations. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 23(10), 4896.
<https://doi.org/10.3390/s23104896>
- Jarašūnienė, A., Čižiūnienė, K., y Čereška, A. (2023). Research on Impact of IoT on Warehouse Management. *Sensors*, 23(4), 2213. <https://doi.org/10.3390/s23042213>
- Jiang, S., Jia, S., y Guo, H. (2024). Internet of Things (IoT)-enabled framework for a sustainable Vaccine cold chain management system. *Heliyon*, 10(7), e28910.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28910>
- Kam, B., Ahsan, K., Deng, H., y Duan, S. (2026). Digital platforms in supply chain and logistics management: A systematic literature review. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 209, 104737. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2026.104737>

- Kandasamy, J., Ethirajan, M., Agrawal, T. K., y Jagtap, S. (2025). A new blockchain and IoT based architecture of food safety system for confectionery supply chain in Industry 4.0 era. *Applied Food Research*, 5(2), 101340. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.101340>
- Kaur, A., Singh, G., Kukreja, V., Sharma, S., Singh, S., y Yoon, B. (2022). Adaptation of IoT with Blockchain in Food Supply Chain Management: An Analysis-Based Review in Development, Benefits and Potential Applications. *Sensors*, 22(21), 8174. <https://doi.org/10.3390/s22218174>
- Kegenbekov, Z., y Saparova, A. (2022). Using the MQTT Protocol to Transmit Vehicle Telemetry Data. *Transportation Research Procedia*, XII International Conference on Transport Infrastructure: Territory Development and Sustainability (TITDS-XII), 61, 410-417. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.01.067>
- Khairullah, E. F., Alghamdi, A. M., Al mojamed, M. M., y Zeadally, S. (2025). LoRaWAN-based smart water management IoT applications: A review. *Journal of Information and Telecommunication*, 9(3), 420-446. <https://doi.org/10.1080/24751839.2025.2458889>
- Khan, Y., Su'ud, M. B. M., Alam, M. M., Ahmad, S. F., Ahmad (Ayassrah), A. Y. A. B., y Khan, N. (2023). Application of Internet of Things (IoT) in Sustainable Supply Chain Management. *Sustainability*, 15(1), 694. <https://doi.org/10.3390/su15010694>
- Khatib, E. J., y Barco, R. (2021). Optimization of 5G Networks for Smart Logistics. *Energies*, 14(6), 1758. <https://doi.org/10.3390/en14061758>
- Kjærsgaard-Winther, C. (2022). A.P. Moller—Maersk and IBM to discontinue TradeLens, a blockchain-enabled global trade platform. <https://www.maersk.com/news/articles/2022/11/29/maersk-and-ibm-to-discontinue-tradelens>

Kuehne+Nagel. (2026). Digital Ecosystem—Kuehne+Nagel Annual Report 2024. <https://2024-annual-report.kuehne-nagel.com/corporate-brochure/english/our-strategy/digital-ecosystem>

Kuehne+Nagel. (2026b). Digital solution—Galvanise your supply chain connectivity. <https://www.kuehne-nagel.com/digital-services/data-integration>

Kumar, D., Singh, R. K., Mishra, R., y Daim, T. U. (2023). Roadmap for integrating blockchain with Internet of Things (IoT) for sustainable and secured operations in logistics and supply chains: Decision making framework with case illustration. *Technological Forecasting and Social Change*, 196, 122837. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122837>

Lamberty, A., y Kreyenschmidt, J. (2022). Ambient Parameter Monitoring in Fresh Fruit and Vegetable Supply Chains Using Internet of Things-Enabled Sensor and Communication Technology. *Foods*, 11(12), 1777. <https://doi.org/10.3390/foods11121777>

Liu, W., Zhang, Q., Jiang, Y., Wang, W., y He, Q. (2026). Smart packaging-integrated sensors and wireless communication technologies for monitoring spoilage in cold chain foods. *Future Foods*, 14, 101094. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2026.101094>

El Malouf, N., & Bahemia, H. (02 de 02 de 2026). *Diffusion of Innovations by Rogers: A review*. TheoryHub. <https://open.ncl.ac.uk/theories/8/diffusion-of-innovations/>
https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/16982/1/22549_espa%C3%B1ol.pdf

Manugu, N., y Gupta, K. (2025). Leveraging IoT for Performance Enhancement of Logistics: Case of a Multinational Company. *Engineering Proceedings*, 114(1), 10. <https://doi.org/10.3390/engproc2025114010>

Martín-Martín, A., Thelwall, M., Orduna-Malea, E., y Delgado López-Cózar, E. (2021). Google Scholar, Microsoft Academic, Scopus, Dimensions, Web of Science, and OpenCitations'

- COCI: A multidisciplinary comparison of coverage via citations. *Scientometrics*, 126(1), 871-906. <https://doi.org/10.1007/s11192-020-03690-4>
- Massari, G. F., Nacchiero, R., y Giannoccaro, I. (2025). Transformative supply chains: The enabling role of digital technologies. *International Journal of Production Economics*, 283, 109562. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2025.109562>
- Mejjaoui, S. (2022). Internet of Things based Decision Support System for Green Logistics. *Sustainability*, 14(22), 14756. <https://doi.org/10.3390/su142214756>
- Metvaei, S., Rahimi, A., Cao, H., Ahn, S. J., y Lei, Z. (2025). A GPS-Integrated IoT Framework for Real-Time Monitoring of Prefabricated Building Modules During Transportation. *Buildings*, 15(23), 4242. <https://doi.org/10.3390/buildings15234242>
- Microsoft Azure Cosmos. (2026). What is Azure IoT Hub? - Azure IoT Hub. <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/iot-hub/iot-concepts-and-iot-hub>
- Mohamed, Z. E., Afify, M. K., Badr, M. M., y Omar, O. A. (2026). IoT-driven smart irrigation system to improve water use efficiency. *Scientific Reports*, 16, 2609. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-33826-6>
- Mohammed, I. A. (2025). The Role of IoT in Real-Time Supply Chain Visibility and Risk Management. *Journal of Marketing y Social Research*, 2, 1-7. <https://doi.org/10.61336/jmsr/25-08-01>
- Moucharraf, M., Ridouani, M., Salahdine, F., y Kaabouch, N. (2026). IoT Security: A Comprehensive Review of Architectures, Threat Models, Detection Methods, and Countermeasures. *Future Internet*, 18(5), 266. <https://doi.org/10.3390/fi18050266>
- Müller, W. A., Kronbauer, M., Ferreira, S. B., y Botelho da Silva, S. (2026). Computational assessment of temperature failures in the cold supply chain: Implications for beef shelf life. *Food Control*, 187, 112100. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2026.112100>

- Nuñez, W. N., Babilonia, L. H., y Ramirez, J. A. (2024). Aproximaciones bibliométricas del uso del IoT en las cadenas de suministros del sector agroindustrial. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 12(1), 137-153. <https://doi.org/10.17081/invinno.12.1.7135>
- Orlovs, D., Rusins, A., Skrastiņš, V., y Judvaitis, J. (2025). LPWAN Technologies for IoT: Real-World Deployment Performance and Practical Comparison. *IoT*, 6(4), 77. <https://doi.org/10.3390/iot6040077>
- 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., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ (Clinical Research Ed.)*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Pal, K., y Yasar, A.-U.-H. (2023). Internet of Things Impact on Supply Chain Management. *Procedia Computer Science, The 14th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies Networks (ANT) and The 6th International Conference on Emerging Data and Industry 4.0 (EDI40)*, 220, 478-485. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.03.061>
- Pereira, E., Júnior, S., Silva, L. F. V., Batista, M., Santos, E., Araújo, Í., Araújo, J., Barboza, E., Gomes, F., Fraga, I. T., Dos Santos, D. O., y Davanso, R. (2024). RFID Tags for On-Metal Applications: A Brief Survey. *Technologies*, 12(5), 58. <https://doi.org/10.3390/technologies12050058>
- Protopappas, L., Bechtsis, D., y Tsotsolas, N. (2025). IoT Services for Monitoring Food Supply Chains. *Applied Sciences*, 15(13), 7602. <https://doi.org/10.3390/app15137602>

- Purandare, A., y Aliakbarian, B. (2023). The role of RFID to improve supply chain sustainability: A systematic literature review and key informant survey. *International Journal of RF Technologies*, 13(2), 149-169. <https://doi.org/10.3233/RFT-230004>
- Radhakrishnan, G. V. (2025). AI and IoT in Supply Chains: Creating Intelligent and Autonomous Business Operations. *Journal of Information Systems Engineering and Management*, 10(11s), 625-632. <https://doi.org/10.52783/jisem.v10i11s.1664>
- Rahimi, M., Maghsoudi, M., y Shokouhyar, S. (2024). The convergence of IoT and sustainability in global supply chains: Patterns, trends, and future directions. *Computers y Industrial Engineering*, 197, 110631. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110631>
- Rejeb, A., Simske, S., Rejeb, K., Treiblmaier, H., y Zailani, S. (2020). Internet of Things research in supply chain management and logistics: A bibliometric analysis. *Internet of Things*, 12, 100318. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100318>
- Roman, E.-A., Stere, A.-S., Roşca, E., Radu, A.-V., Codroiu, D., y Anamaria, I. (2025). State of the Art of Digital Twins in Improving Supply Chain Resilience. *Logistics*, 9(1), 22. <https://doi.org/10.3390/logistics9010022>
- Rossi, E. (2023). Introducción a las revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Acta Gastroenterologica Latinoamericana*, 53(1), 7-10. <https://doi.org/10.52787/agl.v53i1.291>
- Ruiz-López, S. E. (2024). Estrategias de Gestión de la Cadena de Suministro en un Mundo Globalizado. *Revista Científica Zambos*, 3(2), 97-119. <https://doi.org/10.69484/rcz/v3/n2/19>
- Sallam, K., Mohamed, M., y Mohamed, A. (2023). Internet of Things (IoT) in Supply Chain Management: Challenges, Opportunities, and Best Practices. *Sustainable Machine Intelligence Journal*, 2(1), 18. <https://doi.org/10.61185/SMIJ.2023.22103>

- Samuels, A. (2025). Digital transformation in supply chains: Improving resilience and sustainability through AI, Blockchain, and IoT. *Frontiers in Sustainability*, 6. <https://doi.org/10.3389/frsus.2025.1584580>
- Samuels, A. (2025b). Digital transformation in supply chains: Improving resilience and sustainability through AI, Blockchain, and IoT. *Frontiers in Sustainability*, 6. <https://doi.org/10.3389/frsus.2025.1584580>
- Seoane, V., Garcia-Rubio, C., Almenares, F., y Campo, C. (2021). Performance evaluation of CoAP and MQTT with security support for IoT environments. *Computer Networks*, 197, 108338. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2021.108338>
- Shahrokhi, A., y Ahmadi, M. (2024). Power Evaluation of IOT Application Layer Protocols. <https://arxiv.org/html/2405.07326v1>
- Shelby, Z., Hartke, K., y Bormann, C. (2014). RFC 7252: The Constrained Application Protocol (CoAP). IETF Datatracker. <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc7252>
- Shen, Z.-J. M., y Lin, S. (2026). AI Empowers Supply Chain Intelligence: A Three-Chain Four-Intelligence Framework. *Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2026.01.013>
- Sigfox. (2024, mayo 2). UnaBiz upgrades Sigfox 0G Technology, reducing device energy consumption by up to 18X. Sigfox.Com. <https://sigfox.com/unabiz-upgrades-sigfox-0g-technology-reducing-device-energy-consumption-by-up-to-18x/>
- Skrastins, V., Medvedevs, V., Orlovs, D., Ormanis, J., y Judvaitis, J. (2026). Experimental Evaluation of NB-IoT Power Consumption and Energy Source Feasibility for Long-Term IoT Deployments. *IoT*, 7(1), 7. <https://doi.org/10.3390/iot7010007>
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333-339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>

- Stefanovic, N., Radenkovic, M., Bogdanovic, Z., Plasic, J., y Gaborovic, A. (2025). Adaptive Cloud-Based Big Data Analytics Model for Sustainable Supply Chain Management. *Sustainability*, 17(1), 354. <https://doi.org/10.3390/su17010354>
- Taj, S., Imran, A. S., Kastrati, Z., Daudpota, S. M., Memon, R. A., y Ahmed, J. (2023). IoT-based supply chain management: A systematic literature review. *Internet of Things*, 24, 100982. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.100982>
- Tang, Y., y Zha, C. (2026). Application of internet of things (IoT) and machine learning (ML) in intelligent logistics supply chain. *Discover Internet of Things*, 6(1), 31. <https://doi.org/10.1007/s43926-026-00282-1>
- Tang, Y., y Zha, C. (2026b). Application of internet of things (IoT) and machine learning (ML) in intelligent logistics supply chain. *Discover Internet of Things*, 6(1), 31. <https://doi.org/10.1007/s43926-026-00282-1>
- Tsolakis, N., Schumacher, R., Dora, M., y Kumar, M. (2022). Artificial intelligence and blockchain implementation in supply chains: A pathway to sustainability and data monetisation? *Annals of Operations Research*, 1-54. <https://doi.org/10.1007/s10479-022-04785-2>
- Ugwuanyi, S., Paul, G., y Irvine, J. (2021). Survey of IoT for Developing Countries: Performance Analysis of LoRaWAN and Cellular NB-IoT Networks. *Electronics*, 10(18), 2224. <https://doi.org/10.3390/electronics10182224>
- Vaccari, L., Coruzzolo, A. M., Lolli, F., y Sellitto, M. A. (2024). Indoor Positioning Systems in Logistics: A Review. *Logistics*, 8(4), 126. <https://doi.org/10.3390/logistics8040126>
- Valenzuela-Cobos, A., Vera-Cabanilla, B., Castillo-Heredia, L., y Valenzuela-Cobos, J. (2025). Industry 4.0 in logistics management in Latin America: A bibliometric review. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 18(1), 115-129. <https://doi.org/10.3926/jiem.8147>

- Varriale, V., Cammarano, A., Michelino, F., y Caputo, M. (2021). Sustainable Supply Chains with Blockchain, IoT and RFID: A Simulation on Order Management. *Sustainability*, 13(11), 6372. <https://doi.org/10.3390/su13116372>
- Vasquez, J. A. G., Arroyo, M. E. C., Maguiña, M. M. H., Asto, M. K. L., Quincho, L. M. S., y Cabrera, A. F. V. (2023). Tecnologías del internet de las cosas aplicadas en la cadena de suministro. Una revisión sistemática. *Gestión de Operaciones Industriales*, 2(01), 8-26. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/RINGIND/article/view/5408>
- Wang, L., y Hsu, H.-H. (2025). IoT technology in maritime logistics management: Exploration of data analysis methods. *Discover Internet of Things*, 5(1), 66. <https://doi.org/10.1007/s43926-025-00167-9>
- Wang, T., Chen, H., Dai, R., y Zhu, D. (2022). Intelligent Logistics System Design and Supply Chain Management under Edge Computing and Internet of Things. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022(1), 1823762. <https://doi.org/10.1155/2022/1823762>
- Wiebracht, A. (2026). How industrial IoT makes both buildings and logistics smarter. DHL. <https://www.dhl.com/global-en/delivered/innovation/industrial-iot-means-smarter-buildings-and-smarter-logistics.html>
- Wong, W. P., Anwar, M. F., y Soh, K. L. (2024). Transportation 4.0 in supply chain management: State-of-the-art and future directions towards 5.0 in the transportation sector. *Operations Management Research*, 17(2), 683-710. <https://doi.org/10.1007/s12063-024-00471-7>
- World Bank Group. (2021). Accelerating Digitalization Across the Maritime Supply Chain [Text/HTML]. World Bank. <https://www.worldbank.org/en/topic/transport/publication/accelerating-digitalization-across-the-maritime-supply-chain>

- Wu, L., Zhang, Z., Huang, J., Su, I.-H., y Tian, S. (2025). Digital Technologies and Supply Chain Resilience: A Resource-Action-Performance Perspective. *Information Systems Frontiers*, 27(5), 2137-2158. <https://doi.org/10.1007/s10796-025-10595-1>
- Xiros, V., Gonzalez Castro, J. M., Fernandez-Pelaez, F., Magoutas, B., y Christidis, K. (2025). Supply Chain Data Analytics for Digital Twins: A Comprehensive Framework. *Applied Sciences*, 15(12), 6939. <https://doi.org/10.3390/app15126939>
- Yadav, J., y Rani, B. (2025). Internet of Things (IoT) in Supply Chain and Management Systems. *International Journal of Artificial Intelligence, Computer Science, Management and Technology*, 2(2), 11-19. <https://ijacmt.com/index.php/j/article/view/25>
- Yang, D., Li, R., y Liu, S. (2025). Exploring the Influence of Cloud Computing on Supply Chain Performance: The Mediating Role of Supply Chain Governance. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, 20(2), 70. <https://doi.org/10.3390/jtaer20020070>
- Zaman, J., Shoomal, A., Jahanbakht, M., y Ozay, D. (2025). Driving Supply Chain Transformation with IoT and AI Integration: A Dual Approach Using Bibliometric Analysis and Topic Modeling. *IoT*, 6(2), 21. <https://doi.org/10.3390/iot6020021>
- Zhang, C., y Wei, W. (2022). IoT Network for International Trade Cold Chain Logistics Tracking Based on Kalman Algorithm. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022(1), 1608167. <https://doi.org/10.1155/2022/1608167>
- Zhang, Q., Ullah, A., Ashraf, S., y Abdullah, M. (2024). Synergistic Impact of Internet of Things and Big-Data-Driven Supply Chain on Sustainable Firm Performance. *Sustainability*, 16(13), 5717. <https://doi.org/10.3390/su16135717>
- Zhang, Y., Lin, Y., y Esfahbodi, A. (2025). Digital transformations of supply chain management via RFID technology: A systematic literature review. *Journal of Digital Economy*, 4, 251-267. <https://doi.org/10.1016/j.jdec.2025.06.001>

- Zhao, N., Hong, J., y Lau, K. H. (2023). Impact of supply chain digitalization on supply chain resilience and performance: A multi-mediation model. *International Journal of Production Economics*, 259, 108817. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2023.108817>
- Zhou, L., Jiang, M., Duan, R., Zuo, F., Li, Z., y Xu, S. (2024). Barriers and Implications of 5G Technology Adoption for Hospitals in Western China: Integrated Interpretive Structural Modeling and Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory Analysis. *JMIR mHealth and uHealth*, 12, e48842. <https://doi.org/10.2196/48842>
- Zreikat, A. I., AlArnaout, Z., Abadleh, A., Elbasi, E., y Mostafa, N. (2025). The Integration of the Internet of Things (IoT) Applications into 5G Networks: A Review and Analysis. *Computers*, 14(7), 250. <https://doi.org/10.3390/computers14070250>
- Zrelli, I., y Rejeb, A. (2024). A bibliometric analysis of IoT applications in logistics and supply chain management. *Heliyon*, 10(16), e36578. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36578>