

Monografía

Revolución en la Logística: Impacto y Potencial de los Drones en la Gestión de Inventarios en América Latina

Fray Alonso Perez Camacho

Asesor

Julio Cesar González Silva

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD
Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI
Especialización en Gerencia de Procesos Logísticos en Redes de Valor

2025

Esta página opcional

Nombre Director de Trabajo de Grado

Jurado

Jurado

Agradecimientos

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a quienes me han apoyado incondicionalmente.

En primer lugar, a Dios, por ser el pilar fundamental que me permitió dedicar el tiempo necesario a mis estudios y a la culminación de este proyecto. Mi gratitud se extiende a mi familia, mi esposa y mis hijas, por su valiosa compañía y comprensión a lo largo de este año tan desafiante.

Adicionalmente, extiendo un especial reconocimiento a los profesionales que contribuyeron con sus conocimientos. De manera particular, agradezco al ingeniero Julio Cesar González Silva, cuya orientación y valiosas aclaraciones fueron cruciales para fortalecer y dar mayor solidez a la elaboración de esta monografía.

Resumen

El presente trabajo de investigación se centra en la optimización de la gestión de inventarios a través de la implementación de drones como una solución innovadora en el sector logístico de América Latina. Se aborda la problemática de los métodos tradicionales, que son propensos a errores, consumen mucho tiempo y representan riesgos para la seguridad del personal. La tesis principal sostiene que la integración de esta tecnología, en el marco de la Industria 4.0, ofrece un potencial considerable para mejorar la eficiencia operativa, reducir costos y elevar la precisión del conteo de inventarios. No obstante, se reconocen los desafíos inherentes a su adopción, como los altos costos iniciales, la necesidad de una fuerza laboral capacitada y la ausencia de un marco regulatorio claro. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es identificar y sistematizar las mejores prácticas y estrategias que faciliten la adopción de los drones en el contexto específico del sector logístico colombiano, buscando ofrecer una guía práctica para su implementación exitosa.

Palabras clave: Drones, Logística, Inventarios, Optimización, Tecnología 4.0, Latinoamérica, Colombia.

Abstract

This research focuses on optimizing inventory management through the implementation of drones as an innovative solution in the Latin American logistics sector. It addresses the challenges of traditional methods, which are prone to errors, time-consuming, and pose risks to personnel safety. The main thesis argues that integrating this technology, within the framework of Industry 4.0, offers significant potential to improve operational efficiency, reduce costs, and enhance the accuracy of inventory counts. However, the inherent challenges of its adoption are recognized, such as high initial costs, the need for a skilled workforce, and the absence of a clear regulatory framework. Therefore, the objective of this work is to identify and systematize the best practices and strategies that facilitate the adoption of drones in the specific context of the Colombian logistics sector, aiming to provide a practical guide for its successful implementation.

Keywords : Drones, Logistics, Inventories, Optimization Technology 4.0, Latin America, Colombia

Tabla de contenido

Monografía	1
Agradecimientos	3
Resumen	4
Abstract.....	5
Lista de Tablas	7
Introducción.....	9
Planteamiento del Problema	10
Justificación	15
Objetivos.....	19
Objetivo General.....	19
Objetivos Específicos	19
Marco Referencial	20
Marco Legal y Regulatorio	52
Marco Metodológico	54
Desarrollo metodológico por objetivos específicos.....	55
RESULTADOS	57
Objetivo específico 1:	57
Objetivo Específico 2	101
Objetivo específico 3	113
Conclusiones.....	119
Recomendaciones	122
Bibliografía	125

Lista de Tablas

Tabla 1 Comparacion de metodos de revision sitemica	44
Tabla 2 Fases del proceso metodológico según la Scoping Review	54
Tabla 3 Ecuaciones de búsqueda por base de datos	60
Tabla 4 Recuento de documentos por base de datos y tipo	63
Tabla 5 Matriz analítica para identificación de buenas prácticas en la adopción de drones en inventarios (Parte 1)	68
Tabla 6 Matriz analítica para identificación de buenas prácticas en la adopción de drones en inventarios (Parte 2)	72
Tabla 7 Matriz de Selección de Estudios de Caso para el Objetivo Específico 2	104
Tabla 8 Estudios de caso seleccionados para análisis (Objetivo 2, Fases 1 y 2)	108
Tabla 9 Evaluacion de buenas practicas (Fase 3)	110
Tabla 10 Impacto promedio por KPI según estudios seleccionados	116

Lista de Figuras

Figura 1 Diagrama de objetivos y fases de la investigación	55
Figura 2 Distribución de los documentos revisados según tipo de publicación	89
Figura 3 Distribución geográfica de los estudios analizados y su representatividad regional.	90
Figura 4 Distribución de los estudios por sector de aplicación	92
Figura 5 Distribución de los factores impulsores de la adopción de drones según el número de documentos.	93
Figura 6 Impacto promedio de drones en KPIs logísticos.	117

Introducción

En el panorama competitivo actual, la gestión de inventarios es un componente crucial de la cadena de suministro, cuyo éxito se basa en la eficiencia de los procesos logísticos. Los métodos tradicionales de conteo manual son ineficientes, consumen tiempo valioso y exponen al personal a riesgos operacionales en almacenes complejos. Es en este contexto que la Industria 4.0 ha impulsado una transformación radical en el sector, a través de la integración de tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial y la automatización.

Dentro de este ecosistema tecnológico, los drones han emergido como una solución viable y prometedora para la optimización de la gestión de inventarios. Estos dispositivos, como los drones, permiten automatizar el recuento físico del inventario, acceder de manera eficiente a áreas de difícil alcance en los almacenes con estanterías de múltiples niveles, y proporcionar datos en tiempo real sobre las existencias. A pesar de su potencial, la adopción de drones en América Latina enfrenta barreras como los altos costos de implementación y la falta de un marco regulatorio claro. Por lo tanto, esta investigación se propone identificar y sistematizar las mejores prácticas y estrategias para superar estos desafíos, con un enfoque particular en el sector logístico colombiano. El objetivo es ofrecer un marco de referencia que facilite la integración efectiva de esta tecnología en las empresas de Latinoamérica contribuyendo así a una logística más avanzada y eficiente en la región.

Planteamiento del Problema

El sector logístico es un componente fundamental en la cadena de suministro, ya que abarca la planificación, ejecución y control de los procesos que permiten el movimiento eficiente de bienes y servicios desde los proveedores hasta los consumidores finales. Su correcta gestión garantiza la optimización de costos, la reducción de tiempos de entrega y la satisfacción del cliente (Portillo Del Campo & Rivera Herrera, 2018).

Dentro de este proceso, la logística involucra varias áreas clave que trabajan de manera interconectada.

El aprovisionamiento se encarga de adquirir las materias primas y productos necesarios para la producción y distribución. La manufactura transforma estos insumos en bienes terminados, listos para su comercialización. Por su parte, el transporte y la distribución garantizan el movimiento eficiente de las mercancías a lo largo de la cadena de suministro, asegurando que lleguen en tiempo y forma a su destino.

La gestión de inventarios monitorea las existencias en los centros de distribución, optimiza el almacenamiento, minimiza pérdidas y garantiza la disponibilidad de productos. Finalmente, los centros de distribución organizan y consolidan los productos antes de su envío, mientras que el servicio al cliente se encarga de asegurar que los productos se entreguen en condiciones óptimas y dentro de los plazos establecidos (Portillo Del Campo & Rivera Herrera, 2018).

La gestión de inventarios tema de interés en este trabajo, sigue representando un desafío importante en muchas empresas, especialmente en almacenes con estructuras complejas. La Encuesta Nacional Logística (2022) señala que el costo logístico total en Colombia representa el 17,9% de las ventas, y el 25,5% de estos costos se deben a la

gestión de inventarios, reflejando la importancia de optimizar estos procesos (Departamento Nacional de Planeación, 2022).

El sector logístico ha experimentado un crecimiento acelerado en los últimos años, impulsado por el auge del comercio electrónico, el incremento del consumo y la necesidad de entregas más rápidas y eficientes. Además, el mercado de sistemas de automatización para almacenes, incluyendo tecnologías emergentes, ha mostrado un crecimiento importante, proyectándose alcanzar un valor de USD 1.2 mil millones para 2030, con una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 13.5% durante el periodo comprendido entre 2022 y 2030 (Market us, 2024). Según Lee (2022), la cantidad de pedidos en centros de distribución ha aumentado en un 35% en la última década, mientras que la capacidad operativa no ha crecido en la misma proporción. Este desbalance ha generado la necesidad de implementar tecnologías avanzadas para optimizar los procesos logísticos y mejorar la administración de inventarios.

En este contexto, la Industria 4.0 ha generado una transformación en el sector logístico mediante la integración de tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), Big Data, inteligencia artificial, robotización y automatización. Estas innovaciones han permitido mejorar la captura y análisis de datos en tiempo real, optimizando la eficiencia operativa y reduciendo los errores en la gestión de inventarios (Medina Chicaiza & Toapanta Tipantasig, 2023).

Uno de los principales desafíos en la gestión de inventarios es el control de stock y la verificación precisa de las existencias en los centros de distribución. Tradicionalmente, este procedimiento se ha realizado mediante conteos físicos manuales, apoyados en tecnologías como el escaneo de códigos de barras o sistemas RFID básicos. Sin embargo, en almacenes de gran escala o con estructuras de difícil acceso, estos métodos presentan

limitaciones, ya que demandan altos costos operativos, tiempos prolongados de ejecución y un margen significativo de error (Medina Chicaiza & Toapanta Tipantasig, 2023).

En muchos almacenes, los inventarios son organizados en racks o estanterías de múltiples niveles. El conteo físico requiere que los operarios deban subir a plataformas, montacargas o utilizar andamios para acceder a productos ubicados en niveles altos, situación laboriosa que incrementa el riesgo de accidentes y reduce la precisión de los registros debido al error humano bajo esas condiciones.

Bajo este contexto, dentro, una de las soluciones tecnológicas de la Industria 4.0, que ha ganado relevancia en la optimización de la logística de inventarios es el uso de drones. Estos dispositivos, equipados con sensores avanzados, cámaras de alta resolución y sistemas de geolocalización, pueden automatizar el recuento físico en almacenes, accediendo a áreas de difícil alcance y proporcionando datos en tiempo real (Guevara Bonilla, 2023), al realizar sobrevuelos en el almacén, capturando imágenes y datos de cada nivel de los racks de la estructura de almacenaje, sin necesidad de exponer el personal a trabajo en alturas, lo que reduce significativamente el tiempo de conteo y los errores asociados a la labor bajo las condiciones de mayor precisión, reduciendo hasta en un 25% los errores de conteo (Thomaidis, 2024). Pérez & Martínez (2023) demostraron que la implementación de drones en Chile redujo en un 30% el tiempo dedicado al recuento físico, lo que genera ahorros operativos y una mejora en la confiabilidad de la información del inventario.

El uso de drones apoya la seguridad en el trabajo y mejora los costos involucrados en el conteo de inventario. El uso de drones permite mejorar la seguridad del personal al reducir la necesidad de acceder a zonas de difícil alcance. La Guía de Desarrollo y Uso de Drones para Empresas (DAIS, 2023) destaca que esta tecnología facilita la recopilación

automatizada de datos, minimizando discrepancias entre los registros teóricos y las cantidades físicas en los centros de distribución. De igual manera, el Estudio de Factibilidad de Uso de Tecnología Drone en Inventarios para Servientrega S.A. (2022) presenta evidencia sobre la viabilidad económica de implementar esta solución en entornos logísticos reales.

A pesar de estas ventajas, la adopción de drones en el control de inventarios en América Latina enfrenta diversos retos. Aunque los drones utilizados en inventarios operan en contacto visual y a baja altitud, su implementación está condicionada por altos costos iniciales de adquisición y mantenimiento, la necesidad de contar con operadores capacitados, y la falta de un marco regulatorio adaptado a este tipo de aplicaciones en entornos industriales (Canaura J. M., 2020). Además, según García & Rodríguez (2022), en muchos países de la región persisten vacíos normativos en relación con el uso de drones en espacios cerrados y en procesos de logística interna, lo que genera incertidumbre en su adopción y puede incrementar costos indirectos.

Además de los desafíos regulatorios, persisten otras inquietudes sobre la eficiencia y precisión de los drones en el control de inventarios. Según Medina Chicaiza & Toapanta Tipantasig (2023), la implementación de drones debe complementarse con herramientas de procesamiento de datos para garantizar un registro preciso de las existencias. La captura de imágenes y la lectura de etiquetas pueden verse afectadas por factores como la iluminación y la variabilidad en los empaques de los productos. Por ello, su integración con sistemas de gestión de almacenes (WMS) y tecnologías de visión artificial es clave para mejorar su desempeño en entornos logísticos complejos.

Por otro lado, la formulación de estrategias adecuadas para la adopción de drones en el sector logístico es fundamental. Guevara-Bonilla (2023) indica que la incorporación de

esta tecnología debe considerar la infraestructura del almacén, la capacitación del personal y la evaluación del retorno de inversión. Sin una planificación estratégica, los beneficios en términos de reducción de costos y mejora en la gestión de inventarios pueden no ser plenamente aprovechados. En este sentido, la identificación de buenas prácticas y la adaptación de modelos exitosos en otros mercados pueden contribuir a una implementación más efectiva en la región.

Dado este panorama, surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuáles son las mejores prácticas y estrategias que son reconocidas en la adopción de drones para el conteo de inventarios en las empresas latinoamericanas, con énfasis en el sector logístico colombiano que permiten superar los desafíos técnicos, económicos y regulatorios en su implementación?

Justificación

La logística es un pilar clave en la gestión de las redes de valor, ya que coordina de manera eficiente el flujo de bienes, servicios e información a lo largo de toda la cadena de suministro. Su adecuada administración permite optimizar costos, mejorar la disponibilidad de productos y agilizar los procesos de distribución, lo que se traduce en una mayor competitividad para las empresas (Portillo Del Campo & Rivera Herrera, 2018). Dentro de este marco, la gestión de inventarios se convierte en una función estratégica, ya que garantiza la disponibilidad oportuna de mercancías, reduce costos operativos y facilita una toma de decisiones más informada.

El control de inventarios enfrenta múltiples desafíos, especialmente en entornos logísticos con estructuras complejas y grandes volúmenes de productos. Los métodos tradicionales, como el escaneo manual de códigos de barras o el uso de RFID convencional, aún dependen en gran medida de procesos manuales, lo que incrementa el tiempo de ejecución y eleva el margen de error. Esta situación se agrava en almacenes con estanterías de gran altura o de difícil acceso, donde se requiere equipamiento especial y donde existe mayor exposición del personal a riesgos operativos (García & Rodríguez, 2022; Medina Chicaiza & Toapanta Tipantasig, 2023). Además, estos procedimientos manuales suelen demandar altos costos operativos y tiempos prolongados de ejecución.

Frente a este panorama de conteo manual que genera ineficiencias y riesgos, han emergido nuevas tecnologías que aportan una dinámica innovadora a la labor, facilitando significativamente la tarea y superando estas dificultades.

La transformación digital impulsada por la Industria 4.0 ha favorecido la incorporación de tecnologías emergentes, como el Internet de las Cosas (IoT), Big Data, automatización, inteligencia artificial y vehículos autónomos, para mejorar procesos

logísticos. En este contexto, los drones han emergido como una alternativa tecnológica viable para automatizar el conteo de inventarios, gracias a su capacidad para acceder a zonas elevadas, capturar imágenes de alta resolución y transmitir datos en tiempo real (Guevara Bonilla, 2023). Su uso permite reducir costos operativos, mejorar la precisión del inventario y aumentar la seguridad del personal.

Estudios recientes respaldan estas afirmaciones: el uso de drones ha demostrado reducir en hasta un 30 % el tiempo dedicado al recuento físico y minimizar hasta en un 25 % los errores en los registros de inventario (Thomaidis, 2024; Perez & Martinez, 2023). Adicionalmente, su implementación permite minimizar la exposición del personal a riesgos derivados del trabajo en alturas o de difícil acceso (DAIS, 2023). Estos beneficios, además de representar un avance tecnológico, se traducen en mayor eficiencia operativa y mejor toma de decisiones dentro de la cadena de suministro.

A pesar de estos avances, la adopción de drones para la gestión de inventarios en América Latina sigue siendo incipiente. Factores como la falta de información consolidada sobre su impacto real en la eficiencia operativa, los altos costos iniciales de inversión, la necesidad de personal calificado y las barreras regulatorias, limitan su implementación (Canaura, 2020; Garcia & Rodriguez, 2022). Además, la escasa evidencia empírica sobre la rentabilidad de esta solución en comparación con los métodos tradicionales dificulta la toma de decisiones informadas en muchas empresas del sector logístico regional.

Es fundamental entender que, a pesar de los desafíos que puedan presentarse, la tecnología de drones ofrece beneficios significativos que la posicionan como una solución estratégica y viable para el sector logístico, especialmente en América Latina y en Colombia. Este surgimiento innovador es resultado directo de la transformación digital impulsada por la Industria 4.0, la cual ha propiciado el desarrollo de herramientas como el

Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial y la automatización. Dentro de este contexto, los drones se han establecido como una herramienta capaz de revolucionar la forma en que se gestionan los inventarios.

Ante los desafíos actuales en la adopción de drones para la gestión de inventarios en América Latina, tales como los altos costos iniciales, la necesidad de personal calificado y las barreras regulatorias, se hace indispensable realizar un estudio que permita comprender la situación actual de esta tecnología en la región. Para abordar esto de manera efectiva, es fundamental emplear una revisión sistemática de literatura con fuentes confiables.

Este enfoque metodológico es idóneo para dar respuesta a la pregunta de investigación sobre las mejores prácticas y estrategias de adopción de drones en el sector logístico colombiano. Su valor radica en que nos permite ir más allá de una simple búsqueda: nos ayuda a mapear el estado del arte y a integrar diferentes tipos de fuentes para analizar en profundidad los factores impulsores y las barreras existentes. Al ser un proceso riguroso, estructurado y transparente, proporciona una base sólida para formular recomendaciones que impulsen la eficiencia, la sostenibilidad y la resiliencia en un sector en constante expansión y con altos costos de gestión de inventarios.

El crecimiento del comercio electrónico ha incrementado exponencialmente el número de pedidos, en un 35 % en la última década, mientras que la capacidad operativa de los centros de distribución no ha crecido a la misma velocidad (Lee & Kim, Impact of drone-based inventory management on operational efficiency in High-density warehouses, 2022). Se estima además que el mercado de drones para almacenes alcanzará un valor de USD 1.2 mil millones en 2030, con una tasa de crecimiento anual compuesta del 13,5 % (Market us, 2024).

Este estudio responde a dicha necesidad. A través de una revisión sistemática de literatura académica y técnica, se busca identificar las mejores prácticas documentadas en la implementación de drones para el conteo de inventarios, especialmente aquellas que permitan superar los desafíos técnicos, económicos y regulatorios que enfrentan las empresas latinoamericanas. Este trabajo no solo permitirá evidenciar los beneficios de esta tecnología, sino que también contribuirá a la construcción de un marco de referencia que facilite su adopción progresiva en empresas del sector logístico colombiano, fortaleciendo su competitividad y sostenibilidad a largo plazo (Canaura J. M., 2020).

Además, la sistematización de estas buenas prácticas permitirá generar conocimiento clave para la formulación de recomendaciones estratégicas orientadas a la planificación, adopción tecnológica e integración de drones con otras herramientas digitales, como los sistemas de gestión de almacenes (WMS). Finalmente, esta investigación se suma al esfuerzo por ordenar, consolidar y difundir el conocimiento especializado sobre el uso de drones en logística, promoviendo su aplicación responsable y efectiva en entornos empresariales cada vez más exigentes y competitivos.

Objetivos

Objetivo General

Identificar, mediante una revisión sistemática de la literatura, las mejores prácticas que son reconocidas en la adopción de drones para el conteo de inventarios en las empresas latinoamericanas, con énfasis en el sector logístico colombiano que permiten superar los desafíos técnicos, económicos y regulatorios en su implementación.

Objetivos Específicos

Caracterizar mediante revisión de la literatura, el estado de adopción de drones en el conteo de inventarios en empresas latinoamericanas, identificando los principales factores impulsores y las barreras existentes en cuanto a desafíos técnicos, económicos y regulatorios en su implementación.

Describir, con base en la información recolectada, las mejores prácticas en el uso de drones para el conteo de inventarios, en el sector logístico colombiano, con énfasis en la tecnología utilizada, los protocolos de implementación y la gestión de datos.

Evaluar el impacto cuantitativo y cualitativo de la adopción de drones en la eficiencia, precisión y costos del conteo de inventarios en empresas del sector logístico colombiano, a través del análisis de estudios de caso y datos empíricos.

Marco Referencial

Marco Contextual

La logística

Generalidades

La logística es una disciplina esencial para la competitividad empresarial, ya que coordina los flujos de materiales, información y recursos desde el origen hasta el cliente final, buscando eficiencia y satisfacción. Su evolución ha sido marcada por la incorporación de tecnología, la globalización y el enfoque en cadenas de valor. Según Servera-Francés (2010), la logística ha pasado de ser una función auxiliar a convertirse en un pilar estratégico. Ballou (2004) la define como el conjunto de actividades necesarias para proporcionar bienes y servicios en el lugar, momento y condiciones deseadas, con el mínimo costo total. Actualmente, la logística se entrelaza con tecnologías emergentes en el marco de la Industria 4.0, transformando sus procesos operativos y de decisión (Patricia Malagón-Suárez, 2023).

El sector logístico en América Latina y el Caribe enfrenta desafíos estructurales que limitan su competitividad y eficiencia. Según el Banco Interamericano de Desarrollo (Calatayud, 2021) los costos logísticos en la región representan entre el 16 % y el 26 % del valor del producto final, superando ampliamente los estándares observados en países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), donde estos costos oscilan entre el 8 % y el 12 %.

Estos elevados costos se deben a múltiples factores, entre ellos:

- Infraestructura deficiente: La calidad y cobertura de las infraestructuras de transporte, almacenamiento y conectividad digital son limitadas, lo que genera cuellos de botella y tiempos de tránsito prolongados.

- Baja adopción tecnológica: La incorporación de tecnologías avanzadas en los procesos logísticos es aún incipiente, lo que restringe la visibilidad y trazabilidad en las cadenas de suministro.

- Regulaciones y trámites complejos: La heterogeneidad y complejencia de las normativas aduaneras y logísticas entre países dificultan el comercio intrarregional y aumentan los tiempos y costos operativos.

En el caso específico de Colombia, los costos logísticos representan aproximadamente el 17,9 % de las ventas empresariales, con el manejo de inventarios constituyendo el 25,5 % de ese total (DNP, 2022). Esta situación refleja la necesidad urgente de implementar políticas públicas orientadas a la modernización de la infraestructura, la simplificación de trámites y la promoción de la adopción tecnológica en el sector logístico.

El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) propone una hoja de ruta que incluye acciones a corto, mediano y largo plazo, adaptadas al nivel de desarrollo logístico de cada país. Estas acciones abarcan desde inversiones en infraestructura física y digital hasta reformas institucionales y programas de capacitación, con el objetivo de mejorar la eficiencia, reducir costos y fomentar la integración regional (Calatayud, 2021).

En Colombia, el Departamento Nacional de Planeación (2022) reporta una leve mejora en prácticas logísticas, impulsada por la implementación de plataformas digitales, el uso de herramientas colaborativas y la expansión de centros de distribución urbano (DNP, 2022).

En este contexto, la logística de última milla ha cobrado particular relevancia, especialmente como respuesta al crecimiento del comercio electrónico y al cambio en los patrones de consumo.

El almacenamiento de mercancías

El almacenamiento es una actividad clave dentro de la cadena logística, que permite conservar, organizar y distribuir productos de manera eficiente. Su gestión influye directamente en la productividad, la trazabilidad y la seguridad de los productos. Los almacenes se pueden clasificar según su función (tránsito, consolidación, distribución), nivel de automatización o tipo de mercancía (Puerta Zavaleta, 2020). La optimización del almacenamiento incluye el uso de estanterías inteligentes, sistemas de picking dirigidos por voz o luz, y software de gestión de espacios. En América Latina, el uso de sistemas semiautomáticos y plataformas WMS (Sistema de Gestión de Almacenes.) está en crecimiento, aunque aún existe una brecha considerable frente a países industrializados (Losada Agudelo & Ordoñez Rosero, 2024).

La gestión del inventario en espacios de almacenamiento

La gestión del inventario tiene como propósito mantener un equilibrio entre la disponibilidad de productos y la eficiencia operativa. Para ello, se emplean técnicas como el análisis ABC, conteo cíclico, inventario perpetuo, método EOQ (cantidad económica de pedido), y modelos de reabastecimiento basado en demanda. Con el uso de tecnologías como códigos de barras, RFID, sensores IoT y sistemas WMS, es posible realizar monitoreo en tiempo real, reducir errores humanos y automatizar procesos (Guerra Naranjo, 2024); (Mecalux, 2021).

La adopción de estas herramientas en Latinoamérica es desigual: grandes empresas ya cuentan con soluciones digitales, mientras que muchas pymes aún usan sistemas manuales (Custodio, 2025). En este sentido, el fortalecimiento tecnológico y la formación del personal son factores determinantes para mejorar la gestión del inventario y su impacto en la productividad empresarial.

Buenas prácticas en la adopción de tecnologías logísticas

Según los lineamientos de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2015) y los estándares metodológicos del Project Management Institute (PMI, 2021), una buena práctica en entornos logísticos se define como aquella que contribuye a garantizar la eficiencia operativa, la exactitud en los procesos, la seguridad, la disponibilidad tecnológica, la capacidad de adaptación a distintos contextos, la viabilidad económica y la sostenibilidad en el tiempo. Estos criterios son fundamentales para evaluar la adopción de tecnologías emergentes, como el uso de drones en procesos de inventario.

Tecnologías emergentes

Generalidades

Las tecnologías emergentes son aquellas innovaciones que, aunque se encuentran en etapas relativamente tempranas de adopción, tienen un alto potencial para transformar procesos y sectores productivos. En el campo logístico, estas tecnologías están redefiniendo las cadenas de suministro, mejorando la eficiencia, trazabilidad, velocidad y capacidad de respuesta ante entornos cambiantes.

Las tecnologías emergentes están transformando los procesos logísticos a través de soluciones como la inteligencia artificial, el Internet de las cosas (IoT), blockchain, robótica colaborativa y los vehículos autónomos. Estas herramientas permiten mejorar la trazabilidad, reducir tiempos de operación, y generar datos en tiempo real que favorecen la toma de decisiones, estas tecnologías están permitiendo una transición hacia cadenas de suministro más ágiles, transparentes y automatizadas, propias del paradigma de la logística 4.0 (Burinskiene & Daskevici, 2024; Medina Chicaiza & Tipantasig, 2023).

Herramientas tecnológicas emergentes:

- **Internet de las cosas (IoT):** permite la conexión y monitoreo en tiempo real de activos, mercancías y vehículos logísticos.
- **Inteligencia artificial (IA):** aplicada en la predicción de demanda, optimización de rutas y análisis de datos.
- **Blockchain:** facilita la trazabilidad de operaciones y la seguridad en el intercambio de información.
- **Robótica y automatización:** utilizada para el manejo de mercancías, el almacenamiento inteligente y la preparación de pedidos.
- **Vehículos autónomos y drones:** empleados para el transporte interno, inspección y vigilancia.

Estas tecnologías están siendo adoptadas gradualmente por las empresas latinoamericanas, en especial en sectores altamente competitivos como el comercio electrónico, la agroindustria o la manufactura avanzada. Sin embargo, su implementación requiere superar barreras como el alto costo inicial, la falta de capacitación técnica y la ausencia de marcos normativos actualizados (Burinskiene & Daskevici, 2024; Patricia Malagón-Suárez, 2023).

La adopción de estas tecnologías varía ampliamente en la región, siendo más común en grandes empresas con mayor capacidad de inversión. Aun así, se reconoce su potencial para impulsar la eficiencia, sostenibilidad y resiliencia de las cadenas logísticas.

Drones

Definición y Evolución

La palabra dron o drone tiene su origen en los términos dron o draen, que en inglés se refieren a un zángano, es decir, una abeja macho. Además,

existe un verbo relacionado que describe el zumbido producido por las abejas, sonido que puede evocar el característico ruido asociado al vuelo de los drones.

Los drones, también conocidos como vehículos aéreos no tripulados (VANTs), son sistemas aéreos controlados remotamente o de manera autónoma. Inicialmente desarrollados para aplicaciones militares, su evolución ha permitido su adopción en diversas industrias civiles, incluida la logística. Se utilizan cada vez más en tareas como monitoreo de infraestructura, inspección de almacenes, conteo de inventarios, vigilancia y transporte de productos ligeros en operaciones de última milla (Tapia Arenas, 2020; Guevara Bonilla, 2023).

Los drones logísticos están equipados con sensores ópticos, cámaras de alta resolución, lectores RFID o LIDAR, y pueden operar en conjunto con sistemas de navegación y georreferenciación, inteligencia artificial y plataformas de análisis de datos. Esta integración les permite realizar tareas de forma autónoma o semiautónoma, con una significativa reducción de tiempos y errores operativos (Aguilar et al., 2019).

La integración de drones en la gestión de inventarios permite automatizar tareas que anteriormente dependían de métodos manuales, aportando mayor precisión y eficiencia (Almendras, 2024; Rothstein, 2015).

Hoy en día, estos aparatos pueden ser empleados en una amplia gama de aplicaciones, adaptándose a las diferentes necesidades de los usuarios según el tipo de dron. En términos generales, los drones se emplean para llevar a cabo tareas que podrían ser complicadas, arriesgadas o costosas de realizar con métodos tradicionales. Por ejemplo, se utilizan en el ámbito militar, para capturar imágenes y videos aéreos, en la agricultura de precisión, para

inspeccionar infraestructuras, en la entrega de paquetes, y en la industria del cine y la televisión.

Tipos de Drones y Características Técnicas

Drones de ala rotatoria (multirrotores):

Son los más comunes en entornos logísticos debido a su capacidad para despegar y aterrizar verticalmente, lo que facilita la operación en espacios confinados. Estos dispositivos son ideales para realizar sobrevuelo en almacenes y capturar imágenes de estanterías de múltiples niveles (Thomaidis S. 2024; Cully & Voas, 2017).

Drones de ala fija:

Tienen mayor autonomía y velocidad, siendo adecuados para misiones de largo alcance, aunque su uso en ambientes interiores es limitado por la necesidad de contar con pistas para el despegue y aterrizaje (Guevara Bonilla, 2023).

Drones híbridos y autónomos:

Combinan características de ambos tipos y pueden realizar vuelos programados sin intervención directa, lo que resulta útil para operaciones continuas en almacenes de gran escala (Mourtzis & Panapoulos, 2024).

Drones con sistemas de posicionamiento preciso:

Para aplicaciones de inventario, es importante que el dron pueda posicionarse con precisión para capturar imágenes consistentes y comparables. Los drones con sistemas GPS y otros sensores son esenciales. (UMILES, 2022).

Drones con capacidad de carga útil:

- Si se requiere transportar equipos adicionales, como escáneres de códigos de barras o RFID, los drones deben tener la capacidad de carga suficiente para llevar estos dispositivos (IDC, 2024).
- Drones con cámaras HD, sensores LiDAR y tecnología de visión por computadora, que permiten generar imágenes 3D y reconocer productos con alta precisión (Liu & Bai, 2025; Sadhukhan & Rodrigues, 2024).
- Drones con capacidad de integrar escáneres RFID y conectividad WMS, lo que permite sincronizar los datos recolectados directamente con los sistemas de gestión de almacenes (Guevara Bonilla, 2023).

Mejores prácticas en la adopción de drones

La adopción de drones en operaciones logísticas no solo implica la adquisición de equipos, sino también un proceso estratégico que debe estar alineado con los objetivos de la organización. Diversos estudios coinciden en que las mejores prácticas se centran en cuatro pilares fundamentales: planificación, integración tecnológica, formación y evaluación de resultados (Portillo Del Campo & Rivera Herrera, 2018; Thomaidis, 2024).

Entre las prácticas más destacadas se encuentran:

- **Análisis previo del entorno operativo:** evaluar dimensiones físicas, altura de estanterías, conectividad y condiciones de vuelo.
- **Selección del dron adecuado:** considerando autonomía, precisión, tipo de sensores, sistema de navegación y compatibilidad con software logístico.
- **Formación técnica del personal:** tanto para la operación segura del equipo como para la interpretación de los datos recolectados.

- **Implementación progresiva:** iniciando con proyectos piloto, midiendo resultados y ajustando procesos antes de su escalamiento.
- **Medición mediante indicadores de desempeño (KPIs):**
exactitud del conteo, tiempos de vuelo, cobertura por sesión, ahorro de recursos, etc.

Empresas que han implementado estas prácticas reportan mejoras en eficiencia operativa, reducción de errores humanos y fortalecimiento de la trazabilidad (Perez & Martinez, 2023).

Adopción de drones en logística

La implementación de drones en logística ha ganado terreno especialmente en tareas como:

- Inventarios en centros de distribución.
- Inspección estructural de instalaciones.
- Seguimiento de vehículos y mercancías.
- Entrega de paquetes livianos en zonas urbanas y rurales.

Su adopción ha sido documentada en países como Estados Unidos, Chile, Brasil y España, donde se han llevado a cabo pilotos exitosos con integración de drones a sistemas WMS y ERP (Garces-giraldo, 2022; Lee & Kim, 2022).

Los resultados han demostrado:

- Mayor eficiencia en el levantamiento de datos.
- Reducción de tiempos en conteos.
- Disminución de riesgos laborales.
- Precisión en la localización de productos.

No obstante, esta adopción depende del entorno operativo, la infraestructura disponible y el marco normativo del país.

Conteo de inventarios con drones: ¿en qué consiste?

El conteo de inventarios con drones consiste en utilizar estos dispositivos aéreos equipados con cámaras o sensores para registrar visualmente la posición y el estado de las unidades de producto en los almacenes. A través de rutas preprogramadas, el dron captura imágenes o señales que luego se procesan para comparar con los registros del sistema de inventario (Lee D.-H. &.-H., 2018).

El proceso implica:

- **Planificación del vuelo** según la estructura del almacén.
- **Captura de datos visuales o RFID** en ubicaciones definidas.
- **Procesamiento con software** que interpreta los datos recolectados.
- **Validación contra el sistema WMS/ERP.**
- **Generación de informes automáticos** con los resultados.

Desafíos para la implementación de drones

Pese a sus beneficios, la implementación de drones en logística enfrenta diversos desafíos que deben ser considerados:

a) Técnicos

- Limitaciones de espacio aéreo dentro de almacenes.
- Necesidad de conectividad inalámbrica confiable.
- Compatibilidad con otros sistemas logísticos (WMS/ERP).
- Mantenimiento y calibración regular de los drones (Faccio & Gamberi, 2020).

b) Económicos

- Inversión inicial significativa en equipos, software y capacitación.
- Dificultades para justificar el retorno sobre la inversión, especialmente en pymes.
- Costo de actualización tecnológica continua (Nguyen et al., 2021).

c) Regulatorios

- En muchos países, los marcos regulatorios aún no contemplan completamente el uso de drones en espacios cerrados o industriales.
- En Colombia, la operación debe registrarse por el **RAC 91 y RAC 100**, además de cumplir con regulaciones sobre seguridad aérea y tratamiento de datos (Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, 2015; García & Rodríguez, 2022).

Superar estos desafíos implica no solo inversión tecnológica, sino también desarrollo de políticas organizacionales, diálogo con entes reguladores y formación continua del talento humano.

Sector logístico colombiano y su potencial

En Colombia, el crecimiento del comercio electrónico y la necesidad de mayor eficiencia en la cadena logística han impulsado el interés por soluciones tecnológicas como los drones. Sin embargo, aún existen barreras de infraestructura, formación y regulación que deben ser superadas (Departamento Nacional de Planeación, 2022).

El potencial de transformación tecnológica del sector logístico colombiano se encuentra condicionado por la necesidad de adoptar buenas prácticas, aprender de experiencias regionales y fortalecer las capacidades técnicas para implementar soluciones innovadoras como el conteo automatizado con drones (García & Rodríguez, 2022; Guevara Bonilla, 2023).

Marco Teórico

Logística

Definición y Relevancia

La logística, como disciplina fundamental para la integración de las redes de valor se compone de varios elementos clave que garantizan la eficiencia de la cadena de suministro. Para una comprensión profunda en el marco de este estudio, se detallan a continuación sus principales componentes: el aprovisionamiento, la manufactura, el transporte y la distribución, la gestión de inventarios, y los centros de distribución junto con el servicio al cliente. (Franco Vasquez, 2008; Servera Frances, 2010).

Procesos Logísticos

Los procesos logísticos abarcan múltiples áreas interconectadas que garantizan la eficiencia de la cadena de suministro. Entre ellos se destacan:

- **Aprovisionamiento:**

Es el proceso mediante el cual se adquieren las materias primas y productos necesarios para la producción y distribución. Una gestión eficaz del aprovisionamiento asegura la disponibilidad oportuna de insumos y minimiza los costos asociados (Carrasco Arias, 2000).

- **Manufactura:**

Consiste en transformar las materias primas en productos terminados. La eficiencia en la manufactura impacta directamente en la calidad del producto y en los costos de producción (Ruiz Cardenas, 2006).

- **Transporte y distribución:**

Se encarga del movimiento de mercancías entre los diferentes eslabones de la cadena de suministro. La planificación de rutas y el uso de modos de transporte adecuados son fundamentales para garantizar entregas puntuales y eficientes (Jorge & Mantovani., 2022).

- **Gestión de inventarios:**

Implica el control y la supervisión de las existencias, optimizando el almacenamiento, minimizando pérdidas y asegurando la disponibilidad de productos. Este proceso es vital para equilibrar la oferta y la demanda, y se apoya en métodos y tecnologías específicas (Parra Angel & Fuentes Rojas, 2023).

- **Centros de distribución y servicio al cliente:**

Los centros de distribución organizan y consolidan productos para su envío, mientras que el servicio al cliente asegura que los productos lleguen en condiciones óptimas y a tiempo, lo que repercute directamente en la satisfacción del consumidor (Portillo Del Campo & Rivera Herrera, 2018).

Gestión de Inventarios

Principios de la Gestión de Inventarios

La gestión de inventarios se basa en principios que permiten a las empresas mantener un equilibrio óptimo entre la disponibilidad de productos y los costos asociados. Métodos como el Justo a Tiempo (JIT), FIFO (First In, First Out) y LIFO (Last In, First Out) permiten establecer reglas claras de rotación y control (Medina Chicaiza & Toapanta Tipantasig, 2023).

- **Justo a tiempo (JIT):**

Este método minimiza los niveles de inventario al producir y recibir materiales solo cuando se requieren, reduciendo costos de almacenamiento y desperdicios. La implementación de JIT exige una coordinación precisa con los proveedores y una demanda predecible (Medina Chicaiza & Toapanta Tipantasig, 2023).

- **FIFO (First in, First Out):**

Bajo este principio, los productos más antiguos se utilizan o venden primero, lo que es especialmente relevante para productos perecederos o aquellos que pueden deteriorarse con el tiempo (Medina Chicaiza & Toapanta Tipantasig, 2023).

- **LIFO (Last In, First Out):**

Este método implica que los productos que ingresan más recientemente al inventario son los primeros en ser utilizados o vendidos. Aunque puede ser beneficioso en ciertos contextos contables, su aplicación es limitada en entornos donde la obsolescencia es un factor (Medina Chicaiza & Toapanta Tipantasig, 2023).

Métodos de conteo de inventarios

Para garantizar la exactitud en la gestión de inventarios, las empresas utilizan distintos métodos de control:

Conteo Cíclico:

Se realizan recuentos parciales y regulares del inventario, lo que permite la detección continua de discrepancias sin detener las operaciones. Este método

es ideal para mantener registros actualizados y corregir errores de manera oportuna (Koster & Roodbergen, 2007).

Inventario físico:

Es un proceso que implica contar manualmente todas las existencias del almacén para determinar el stock disponible. Aunque proporciona una visión precisa de los productos almacenados, este método puede interrumpir las operaciones habituales y resultar costoso debido a la dedicación de tiempo y recursos necesarios para su ejecución. Tecnologías de Apoyo al Control de Inventarios. (Mecalux, 2021). Ambos métodos son aún utilizados, pero su ejecución en centros logísticos de gran escala es compleja, especialmente cuando se requiere acceso a estanterías de múltiples niveles.

La digitalización ha transformado la forma en que se gestionan los inventarios mediante la incorporación de diversas tecnologías:

Sistemas de gestión de almacenes (WMS):

Estas plataformas automatizan la administración de inventarios, optimizando la distribución, el picking y el control de existencias en tiempo real (Losada Agudelo & Ordoñez Rosero, 2024).

Códigos de barras:

Permiten la identificación rápida de productos a través de escáneres, facilitando el seguimiento y la actualización de registros en los almacenes (Rossini & Pereira, 2021).

RFID:

La identificación por radiofrecuencia mejora la precisión en la gestión de inventarios al permitir la lectura simultánea de múltiples etiquetas sin

necesidad de línea de visión directa, lo que reduce significativamente los tiempos de recuento (Aguilar & Peñalver, Fusion de nubes de puntos de escaner laser terrestre y fotometria aerea basada en imagenes de drones para el inventariode bosques mediterraneos, 2019).

Industria 4.0 y transformación digital en logística

La Industria 4.0 representa una evolución significativa en los sistemas productivos y logísticos mediante la incorporación de tecnologías digitales avanzadas como el Internet de las Cosas (IoT), Big Data, la inteligencia artificial (IA), la robótica, y la automatización (Medina Chicaiza & Toapanta Tipantasig, 2023). En logística, esta transformación ha permitido mayor visibilidad, eficiencia operativa, y toma de decisiones basada en datos en tiempo real.

La Logística 4.0 se caracteriza por la integración de herramientas tecnológicas que automatizan y optimizan los procesos de la cadena de suministro. Esto incluye desde la trazabilidad en tiempo real hasta la planificación predictiva de la demanda, permitiendo una reducción significativa de errores, sobrecostos y desperdicios (Garcia & Rodriguez, 2022).

El uso de tecnologías como sensores, sistemas de geolocalización, algoritmos predictivos y redes inteligentes permite capturar y analizar información en tiempo real para facilitar la toma de decisiones estratégicas (Parra Angel & Fuentes Rojas, 2023).

Logística 4.0 y su Impacto en la Gestión de Inventarios

La Logística 4.0 integra tecnologías digitales avanzadas en la cadena de suministro, lo que permite:

- Captura y análisis de datos en tiempo real: Gracias al IoT y Big Data, se pueden monitorear los niveles de inventario y prever demandas futuras,

optimizando los recursos y reduciendo costos (Medina Chicaiza & Toapanta Tipantasig, 2023).

- **Automatización de procesos:** La integración de sistemas automatizados reduce los errores humanos y acelera el procesamiento de información, lo que mejora la precisión en la gestión de inventarios (García & Rodríguez, 2022).
- **Mayor integración y visibilidad:** Facilita la coordinación entre diferentes actores de la cadena de suministro, lo que se traduce en una mejor sincronización de las operaciones logísticas (Parra Angel & Fuentes Rojas, 2023)

Automatización del conteo de inventarios

La automatización del conteo de inventarios mediante drones permite una lectura precisa y en tiempo real de productos en estanterías múltiples, eliminando errores humanos y reduciendo tiempos de ejecución en hasta un 30% (Perez & Martinez, 2023). Esto se traduce en una disminución de costos operativos, aumento de la productividad y mejora en la confiabilidad de la información del inventario (Thomaidis, 2024).

Además, al minimizar la intervención humana en zonas de riesgo, esta tecnología contribuye a mejorar las condiciones de seguridad laboral (DAIS, 2023).

Tecnologías complementarias a los procesos de inventarios: WMS, IoT, Big Data e inteligencia artificial

Los Sistemas de Gestión de Almacenes (WMS) permiten el control detallado de las operaciones de almacenamiento, integrándose con dispositivos de captura de datos como

escáneres, etiquetas RFID o drones para mejorar la trazabilidad y eficiencia del flujo de productos (Losada Agudelo & Ordoñez Rosero, 2024).

El IoT facilita la comunicación entre dispositivos y sistemas logísticos en tiempo real, mientras que el Big Data y la inteligencia artificial permiten analizar grandes volúmenes de información y generar modelos predictivos para la toma de decisiones más acertadas (Medina Chicaiza & Toapanta Tipantasig, 2023).

Tecnologías de Navegación y Captura de Datos

- **GPS y GNSS:** Proporcionan la localización precisa de los drones en exteriores. En entornos cerrados, se complementan con tecnologías de posicionamiento alternativas como sistemas basados en Wi-Fi o sensores ópticos (Lee & Park, 2021).
- **LiDAR:** Utilizado para generar mapas 3D precisos del entorno, facilitando la navegación en almacenes con estructuras complejas y detectando obstáculos en tiempo real (Liu & Bai, 2025).
- **Visión por computadora:** Esta tecnología permite a los drones interpretar imágenes y reconocer objetos, mejorando la capacidad de identificación de productos y facilitando la lectura de códigos de barras o etiquetas RFID (Sadhukhan & Rodrigues, 2024).

- **Sistemas de captura de datos:**

Incluyen cámaras de alta resolución y escáneres que permiten capturar imágenes detalladas y datos críticos para la gestión de inventarios. La integración de estos sistemas con tecnologías de procesamiento de datos mejora la precisión y velocidad del recuento (Delleji & Lafi, 2024).

Procesamiento y Análisis de Datos

Los datos capturados por los drones se integran en software especializado que utiliza algoritmos de inteligencia artificial y análisis de Big Data para:

- **Generar modelos tridimensionales y mapas detallados de almacenes:**
Esto permite una visión precisa de la ubicación y cantidad de productos, facilitando la identificación de discrepancias en los inventarios (Liu & Bai, 2025).
- **Actualizar en tiempo real los registros de inventarios:** La automatización del procesamiento de datos reduce los errores y permite tomar decisiones basadas en información actualizada (Thomaidis S. , 2024).

Aplicaciones de Drones en la Logística

Uso de Drones en la Gestión de Inventarios

La adopción de drones en la gestión de inventarios es una aplicación emergente dentro de la Logística 4.0, que ofrece múltiples ventajas:

- **Automatización del recuento físico:**

En almacenes donde los inventarios se organizan en racks o estanterías de múltiples niveles, los drones pueden realizar sobrevuelos y capturar imágenes de cada nivel, eliminando la necesidad de que operarios utilicen equipos como plataformas o montacargas. Esto reduce significativamente el tiempo de conteo y minimiza los errores (Thomaidis S. , 2024; Perez & Martinez, 2023).

- **Mejora en la seguridad:**

Al evitar que el personal se exponga a riesgos al acceder a áreas elevadas o de difícil acceso, los drones contribuyen a mejorar las condiciones de trabajo y a reducir la incidencia de accidentes laborales (DAIS, 2023).

- **Integración con sistemas de gestión:**

La combinación de drones con tecnologías RFID y sistemas de gestión de almacenes permite actualizar en tiempo real la información de inventario, facilitando la detección de discrepancias y la toma de decisiones operativas (Guevara Bonilla, 2023).

Drones en la Logística de Transporte y Otras Aplicaciones

Los drones, también conocidos como vehículos aéreos no tripulados (VANT), han evolucionado desde sus aplicaciones militares iniciales hacia múltiples sectores civiles, gracias a sus capacidades de vuelo autónomo, captura de datos y adaptación a entornos complejos. Su implementación se ha expandido a industrias como la agricultura, la minería, la seguridad, el entretenimiento, y, más recientemente, la logística (Almendras, 2024; Rothstein, 2015). Estos dispositivos se caracterizan por su versatilidad, permite su adaptación a múltiples tareas que antes requerían intervención humana directa.

En el ámbito logístico, los drones han demostrado un potencial significativo para optimizar procesos clave, reduciendo tiempos, costos y errores. Uno de los usos más extendidos es en el transporte y distribución de mercancías, particularmente en la llamada "última milla". Gracias a su capacidad de vuelo autónomo y su adaptabilidad a entornos urbanos, los drones pueden realizar entregas rápidas y eficientes, reduciendo los tiempos de distribución y optimizando los recursos logísticos (Garther, 2021).

Monitoreo y seguimiento de envíos:

La capacidad de capturar y transmitir datos en tiempo real permite a los drones supervisar el estado de las mercancías durante su transporte, mejorando la trazabilidad y reduciendo pérdidas (Lee & Kim, 2022).

Aplicaciones en sectores específicos:

Los drones se han implementado en la agricultura para el monitoreo de cultivos, en la minería para inspeccionar áreas de difícil acceso y en el comercio minorista para optimizar la organización y el control de grandes volúmenes de inventario (Ali, 2024; Burinskiene & Daskevici, 2024).

La integración de tecnologías avanzadas en la logística, particularmente la aplicación de drones, representa un cambio transformador en la gestión de inventarios. La Logística 4.0, mediante la incorporación de IoT, Big Data e inteligencia artificial, ha abierto nuevas oportunidades para optimizar los procesos operativos y reducir los errores en la cadena de suministro. Los drones, gracias a su capacidad para acceder a zonas de difícil alcance, automatizar el recuento físico y procesar datos en tiempo real, se presentan como una herramienta innovadora para superar las limitaciones de los métodos tradicionales.

No obstante, la implementación exitosa de esta tecnología requiere abordar desafíos técnicos, económicos y regulatorios, y desarrollar estrategias integrales que garanticen una integración fluida con los sistemas existentes. La revisión de la literatura revela la necesidad de continuar investigando en áreas

como la rentabilidad, la seguridad operativa y la adecuación de las normativas en contextos específicos, especialmente en América Latina y el sector logístico colombiano.

Desafíos técnicos, económicos y regulatorios

Desafíos técnicos

Entre los principales retos técnicos en la implementación de drones destacan:

- a) Limitaciones en el tiempo de vuelo o autonomía energética.
- b) Necesidad de sistemas de navegación precisos en entornos cerrados.
- c) Requerimientos de integración con tecnologías existentes (Guevara Bonilla, 2023).

Desafíos económicos

El costo inicial de adquisición, implementación y mantenimiento de drones, así como la capacitación del personal, son barreras económicas frecuentes en América Latina. Además, muchas empresas aún no perciben claramente el retorno de inversión (ROI), lo que dificulta la adopción (Canaura J. M., 2020).

Desafíos regulatorios

El marco normativo para el uso de drones en espacios cerrados o para fines industriales aún es limitado en muchos países de América Latina. En Colombia, por ejemplo, persisten vacíos regulatorios que afectan la implementación en procesos internos como el conteo de inventarios (Garcia & Rodriguez, 2022). La ausencia de una normativa clara genera incertidumbre y puede elevar los costos indirectos por gestión de permisos o licencias.

La revisión de fuentes bibliográficas

Tipos de revisiones bibliográficas

En el ámbito académico, las revisiones bibliográficas cumplen un papel fundamental en la consolidación del conocimiento existente sobre un tema específico. Su propósito es identificar, analizar, sintetizar y presentar los hallazgos más relevantes publicados previamente por otros autores, facilitando la comprensión del estado actual del conocimiento y permitiendo detectar vacíos teóricos o prácticos.

Existen diversos tipos de revisiones bibliográficas, entre las cuales destacan:

- **Revisión narrativa:** Es un enfoque tradicional que resume la literatura de forma descriptiva. Suele ser más flexible, pero con menor nivel de sistematicidad. Es útil para contextualizar temas amplios o explorar líneas teóricas (Snyder, 2019).
- **Revisión integradora:** Busca no solo resumir los hallazgos, sino también integrar enfoques teóricos y metodológicos para generar nuevas perspectivas.
- **Revisión sistemática:** Se basa en un protocolo estructurado para buscar, seleccionar, evaluar y sintetizar literatura científica siguiendo criterios rigurosos y reproducibles.
- **Revisión meta-analítica:** Cuantifica los resultados de múltiples estudios para establecer patrones estadísticos, muy usada en áreas experimentales.

El tipo de revisión a emplear depende del objetivo del estudio, la disponibilidad de literatura y la profundidad del análisis requerido.

La revisión sistemática de literatura

La revisión sistemática de literatura es un método formal, estructurado y transparente que permite sintetizar evidencia científica de manera rigurosa. A diferencia de las revisiones narrativas, este enfoque sigue protocolos definidos que permiten replicabilidad y minimización del sesgo (Tranfield, Denyer & Smart, 2003). Es

especialmente útil en investigaciones que buscan identificar buenas prácticas, evaluar impactos, o construir marcos conceptuales sólidos a partir de fuentes múltiples.

El proceso de revisión sistemática se basa comúnmente en metodologías como el modelo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), que establece una guía de pasos que incluye: la formulación de preguntas de investigación, definición de criterios de inclusión y exclusión, búsqueda exhaustiva en bases de datos académicas, selección y evaluación crítica de estudios, extracción de datos, síntesis cualitativa o cuantitativa, y reporte estructurado de resultados (Moher et al., 2009).

Este enfoque ha sido ampliamente adoptado en disciplinas como medicina, educación, ingeniería y ciencias sociales aplicadas, incluyendo estudios de gestión, innovación tecnológica y logística.

Métodos para revisión sistemática de la literatura

Para llevar a cabo una revisión sistemática, existen distintos métodos y guías metodológicas que orientan su aplicación. Entre los más reconocidos se encuentran:

- **Modelo PRISMA:** Proporciona una estructura visual (diagrama de flujo) para documentar de manera transparente las etapas de identificación, selección, elegibilidad e inclusión de fuentes. Es ampliamente utilizado por su claridad y aplicabilidad interdisciplinaria (Moher et al., 2009).
- **Guía de Kitchenham (2004):** Propuesta para ingeniería del software, adaptada a investigaciones en tecnología, propone cinco etapas: planificación de la revisión, definición de criterios, búsqueda en bases de datos, extracción y análisis de datos, y redacción del informe final.
- **Okoli & Schabram (2010):** Enfocada en sistemas de información, plantea un proceso en ocho pasos, que va desde la formulación de objetivos hasta la síntesis de la evidencia

y presentación de resultados. Es útil para estudios en gestión tecnológica y ciencias sociales.

Selección de metodologías de revisión sistemática

Como etapa preliminar, se llevó a cabo una revisión exhaustiva de enfoques metodológicos para la realización de revisiones sistemáticas, con el objetivo de identificar cuál se ajusta mejor al propósito, alcance y naturaleza exploratoria del presente estudio. Se seleccionaron tres metodologías ampliamente reconocidas y aplicadas en estudios académicos e interdisciplinarios: PRISMA 2020, Kitchenham & Charters (2007) y Scoping Review de Arksey y O'Malley (2005).

La elección de estos tres enfoques respondió a su prevalencia en investigaciones recientes sobre innovación tecnológica, sistemas logísticos y gestión del conocimiento, evidenciada por su aplicación en estudios que abordan revisiones metodológicas en estos campos (García & Rodríguez, 2022; Kitchenham & Charters, 2007; (Levac & O'Brien, 2010; (Page et al., 2020))

Tabla 1

Comparación de métodos de revisión sistémica

Método	Descripción general	Ventajas	Desventajas	Aplicabilidad	Impacto académico	Fuente de consulta
Prisma 2020	Protocolo de reporte estandarizado con checklist y diagrama de flujo.	Alta trazabilidad y rigor metodológico.	Requiere experiencia en evaluación crítica y documentación exhaustiva.	Útil, pero complejo para un enfoque exploratorio	Más de 47.000 citas (Google Scholar, mayo 2025).	(Page et al., 2021) (Moher, 2009)

2005; Kitchenham & Charters, 2007); (Page et al., 2020). Además, su inclusión responde a su validación metodológica en estudios exploratorios, lo que se alinea con el enfoque cualitativo del presente trabajo.

La Scoping Review, desarrollada por Arksey y O'Malley (2005), se presenta como la opción metodológica más adecuada para esta investigación, ya que permite explorar áreas temáticas poco desarrolladas, integrar diferentes tipos de fuentes (académicas, técnicas e institucionales) y estructurar un mapeo amplio del conocimiento sin restringirse a criterios estrictos de diseño metodológico. Esta flexibilidad resulta especialmente pertinente en estudios exploratorios como el presente, que abordan prácticas emergentes y contextos diversos, donde la evidencia disponible es heterogénea en formato, alcance y profundidad (Arksey H. &, 2005; Levac & O'Brien, 2010).

Su elección no responde a una preferencia arbitraria, sino que es el resultado de una reflexión crítica y comparativa fundamentada en la coherencia metodológica, la viabilidad operativa y la pertinencia con respecto al objeto de estudio (Arksey H. &, 2005; Levac & O'Brien, 2010).

Este enfoque metodológico proporciona un marco versátil para integrar múltiples enfoques teóricos y empíricos, mapear de manera amplia el conocimiento existente y adaptarse a la naturaleza interdisciplinaria y emergente del objeto de estudio. Su utilidad es particularmente evidente en investigaciones exploratorias que requieren flexibilidad operativa y admiten fuentes heterogéneas en formato y profundidad.

Además del análisis cualitativo de las características metodológicas, se consideró el impacto académico de cada enfoque. Según Google Scholar (consulta: mayo de 2025), la guía PRISMA 2020 (Page et al., 2020) acumula más de 47.000 citaciones, destacándose en áreas como medicina, ciencias sociales y revisiones con alto rigor metodológico. El

protocolo de Kitchenham & Charters (2007) registra cerca de 9.000 citaciones, siendo ampliamente utilizado en ingeniería del software y áreas técnicas.

La selección de este método, por tanto, no es arbitraria, sino el resultado de un análisis riguroso orientado por criterios de coherencia metodológica, aplicabilidad temática y alineación con los objetivos del estudio (Arksey H. &, 2005; Levac & O'Brien, 2010)

Como resultado de este análisis, se descartó el modelo de Kitchenham y Charters debido a su enfoque eminentemente técnico, concebido principalmente para investigaciones en ingeniería del software y áreas cuantitativas. Su rigidez metodológica y requerimientos de control analítico lo hacen poco compatible con estudios de orientación cualitativa, como el que se propone aquí.

Aunque el protocolo PRISMA 2020 proporciona un marco altamente estructurado, transparente y validado internacionalmente, su aplicación completa exige una sistematización estricta, así como una evaluación crítica de la calidad metodológica de los estudios incluidos. Si bien son cualidades valiosas, pueden dificultar su aplicación en estudios exploratorios con fuentes variadas y niveles distintos de formalidad, debido a que protocolos como PRISMA exigen una evaluación crítica rigurosa de la calidad metodológica de cada estudio incluido, así como una trazabilidad detallada del proceso de inclusión y exclusión. Este nivel de exigencia limita la incorporación de fuentes técnicas, normativas o institucionales que, aunque relevantes para el fenómeno investigado, no siempre cumplen con los estándares formales requeridos para revisiones sistemáticas de tipo cuantitativo o clínico (Page et al., 2020).

El análisis comparativo de los tres métodos seleccionados permitió reconocer que cada uno presenta fortalezas particulares, pero también limitaciones específicas en función del tipo de estudio que se desea realizar. En el caso de PRISMA 2020, su alto nivel de

validación y estandarización lo convierten en una herramienta útil para estudios que requieren trazabilidad detallada y evaluación exhaustiva de la calidad de los estudios incluidos. Sin embargo, estas exigencias lo hacen menos adecuado para un diseño exploratorio con enfoque cualitativo, en el que se requiere una integración más flexible de diversas fuentes.

El modelo de Kitchenham y Charters (2007), si bien aporta una estructura clara y rigurosa, se enfoca principalmente en investigaciones de ingeniería y software, lo que limita su aplicabilidad en estudios centrados en dinámicas logísticas, organizacionales o sociales que requieren una mirada más contextual.

La Scoping Review propuesta por Arksey y O'Malley permite abordar investigaciones de carácter exploratorio y descriptivo con una lógica de inclusión más amplia, sin comprometer la sistematización del conocimiento. Su utilidad radica en que:

- Permite integrar literatura académica, técnica, normativa e institucional.
- Está diseñada para mapear áreas emergentes o poco exploradas.
- Es adecuada para responder preguntas amplias orientadas a identificar prácticas, barreras y oportunidades.
- Ha sido validada y adaptada exitosamente en investigaciones sobre innovación, tecnología y gestión organizacional.

Arksey y O'Malley (2005) supera las 25.000 citas, con una amplia aplicación en estudios interdisciplinarios, investigación cualitativa y contextos emergentes como salud pública, educación y gestión organizacional.

Estos indicadores bibliométricos refuerzan que la elección metodológica no responde a una preferencia subjetiva, sino al análisis razonado de su aplicabilidad, impacto y compatibilidad con el objetivo exploratorio de esta investigación. (Arksey H. &, 2005; Page et al., 2020; Kitchenham & Charters, 2007).

En consecuencia, se adopta el enfoque de *Scoping Review* como base metodológica del presente estudio. Este método organiza su desarrollo en una secuencia de pasos definidos originalmente por Arksey y O'Malley (2005), los cuales serán retomados en la Tabla 2 como parte del diseño metodológico de esta investigación.

Normativas sobre la Gestión de Inventarios y la Contabilidad

Desde una perspectiva contable y financiera, los inventarios deben ser registrados y gestionados de acuerdo con las normas legales vigentes en cada país. En Colombia, la gestión contable de inventarios está regulada por los Decretos Reglamentarios de las Normas Internacionales de Información Financiera (NIIF), específicamente la Norma Internacional de Contabilidad 2 (NIC 2), la cual establece principios para la valoración, el registro y la presentación de los inventarios en los estados financieros (CTCP, 2022).

Las empresas están obligadas a llevar un control riguroso y documentado de sus inventarios, ya sea mediante métodos de valoración periódicos o permanentes, que deben estar alineados con las disposiciones tributarias y contables vigentes. En Colombia, entidades como la DIAN pueden auditar estos procesos, por lo cual es clave mantener la coherencia entre los registros físicos y contables (Medina Chicaiza & Toapanta Tipantasig, 2023).

En este sentido, la transformación digital de los procesos logísticos, como lo indican Parra Ángel y Fuentes Rojas (2023), debe incorporar mecanismos que garanticen la trazabilidad electrónica y la transparencia en la información. El uso de tecnologías como

drones para el conteo de inventarios genera información digital que, en caso de auditoría, puede servir como evidencia objetiva de la existencia física y de los movimientos registrados.

Regulaciones sobre la Seguridad y el Almacenamiento de Productos

Por otra parte, la seguridad en el almacenamiento y el cumplimiento de estándares en la manipulación de productos también está regulada por normativas específicas según la naturaleza de los bienes. Por ejemplo, productos inflamables o químicos deben almacenarse en áreas especializadas, con ventilación adecuada, señalización de riesgos y sistemas de control ambiental. Esto responde tanto a regulaciones laborales como a normativas técnicas sobre materiales peligrosos (Ministerio del Trabajo, 2020).

En sectores como el alimentario y farmacéutico, también se deben observar estándares sanitarios nacionales e internacionales que regulan la conservación de productos, el uso del sistema FIFO (first-in, first-out) y el mantenimiento de la cadena de frío, para evitar deterioros o riesgos para la salud pública (Medina Chicaiza & Toapanta Tipantasig, 2023).

Además, cuando se incorporan tecnologías como los drones para realizar recuentos o inspecciones visuales en almacenes, es indispensable cumplir con los protocolos establecidos por la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (UAEAC) en Colombia. Esta entidad regula aspectos como la operación en espacios cerrados, el tipo de dron, la responsabilidad del operador, y la protección de datos e imágenes captadas durante las operaciones logísticas (DAIS, 2023).

Por lo tanto, la implementación de drones en la gestión de inventarios debe contemplar una estrategia legal que garantice el cumplimiento normativo en tres niveles: contable, operacional y aeronáutico. Este enfoque integral permite a las organizaciones

modernizar sus procesos, reducir riesgos operativos y garantizar la conformidad legal en el marco de la transformación digital logística.

Marco Legal y Regulatorio

Regulaciones sobre el uso de drones en Latinoamérica

En América Latina, el uso de drones se encuentra regulado de manera diversa. En Colombia, la Aeronáutica Civil regula el empleo de sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS) mediante el Reglamento Aeronáutico Colombiano (RAC) 91 y 100, que establece la clasificación de drones según su peso y uso ((UAEAC), 2015). En México, la Agencia Federal de Aviación Civil (AFAC) exige el registro de drones y licencias para vuelos comerciales. Brasil, a través de la Agencia Nacional de Aviación Civil (ANAC), regula la operación con base en categorías de riesgo (Garcia & Rodriguez, 2022).

Requisitos para la operación de drones

Los requisitos generales para operar drones incluyen: registro de aeronaves, licencias de piloto remoto, seguros de responsabilidad civil y cumplimiento de limitaciones de espacio aéreo. Para actividades internas como inventarios, aunque las restricciones son menores, persisten exigencias de seguridad operativa (Canaura ., J., 2020).

Basado en el Reglamento Aeronáutico de Colombia (RAC 100), que establece las normas para el uso del espacio aéreo nacional, la operación de drones en el sector logístico en espacios cerrados como almacenes y centros de distribución no requiere de los mismos procedimientos de registro y permisos que se exigen para los vuelos en exteriores. Esta exención normativa es un factor clave que facilita y agiliza la adopción de esta tecnología para el control de inventarios, ya que elimina una barrera regulatoria y administrativa significativa para las empresas.

Regulaciones sobre privacidad y protección de datos

La captura de datos mediante drones está sujeta a leyes de protección de datos. En Colombia, la Ley 1581 de 2012 establece principios para la recolección y tratamiento de datos personales, que incluyen imágenes y videos (Garcia & Rodriguez, 2022).

- **Aspectos legales sobre la gestión de inventarios**

Las normas contables, como las NIIF para PYMES, exigen registros precisos de inventarios. Adicionalmente, normas técnicas nacionales como las del ICONTEC establecen requisitos para la seguridad en el almacenamiento (Departamento Nacional de Planeacion, 2022).

- **Aspectos Legales del Control de Inventarios**

La gestión de inventarios no solo implica procedimientos operativos y tecnológicos, sino también el cumplimiento de una serie de aspectos legales y normativos que regulan la forma en que las organizaciones administran, almacenan y contabilizan sus existencias. Estos aspectos son fundamentales para garantizar la trazabilidad, la transparencia contable y la seguridad en el manejo de productos.

Marco Metodológico

Tipo y enfoque de investigación

Esta investigación tiene un enfoque cualitativo, con un diseño descriptivo y exploratorio. Su propósito es comprender, a partir del análisis documental, cuáles son las buenas prácticas reconocidas en la adopción de drones para el conteo de inventarios en empresas latinoamericanas, con especial énfasis en el sector logístico colombiano.

El estudio se fundamenta en la revisión sistemática de literatura, entendida como un método riguroso que permite identificar, evaluar e interpretar estudios científicos relevantes para responder a una pregunta de investigación específica.

Tabla 2

Fases del proceso metodológico según la Scoping Review

Paso	Descripción de la tarea	Producto esperado
1. Identificación del propósito y la pregunta de investigación	Definir con claridad los objetivos y preguntas que orientarán la revisión, alineados con el problema y los objetivos específicos.	Pregunta de investigación definida, alineada con objetivos.
2. Búsqueda exhaustiva de información	Realizar una búsqueda sistemática en bases de datos académicas, institucionales y técnicas, aplicando una estrategia de búsqueda definida.	Base de datos de fuentes seleccionadas, organizadas por tipo y relevancia.
3. Selección de estudios pertinentes	Aplicar criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos para filtrar estudios relevantes y alineados con el objetivo.	Matriz de selección justificada con base en los criterios aplicados y la ecuación de búsqueda empleada.
4. Codificación y extracción de datos	Organizar y extraer información clave (autor, año, contexto, tipo de práctica, beneficios,	Matriz de codificación por autor, tecnología, beneficios, barreras.

Paso	Descripción de la tarea	Producto esperado
	barreras) mediante una matriz estructurada.	
5. Análisis y categorización temática	Identificar patrones, prácticas comunes, desafíos y oportunidades, agrupándolos en categorías temáticas emergentes.	Identificación de patrones y mejores prácticas.
6. Síntesis e interpretación de hallazgos	Redactar los resultados de manera estructurada, resaltando implicaciones para el sector logístico y orientaciones para futuras investigaciones.	Informe final estructurado por categorías temáticas y recomendaciones.

Nota. Elaboración propia con base en el enfoque metodológico Scoping Review de Arksey

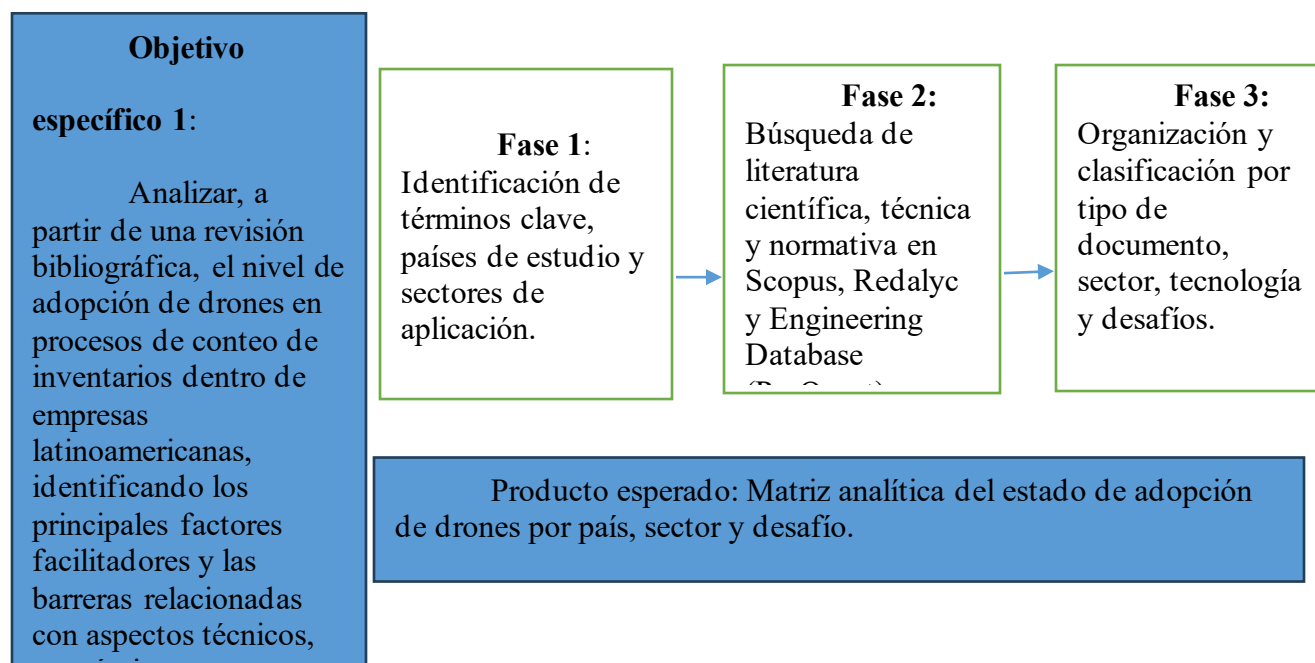
y O'Malley (2005)

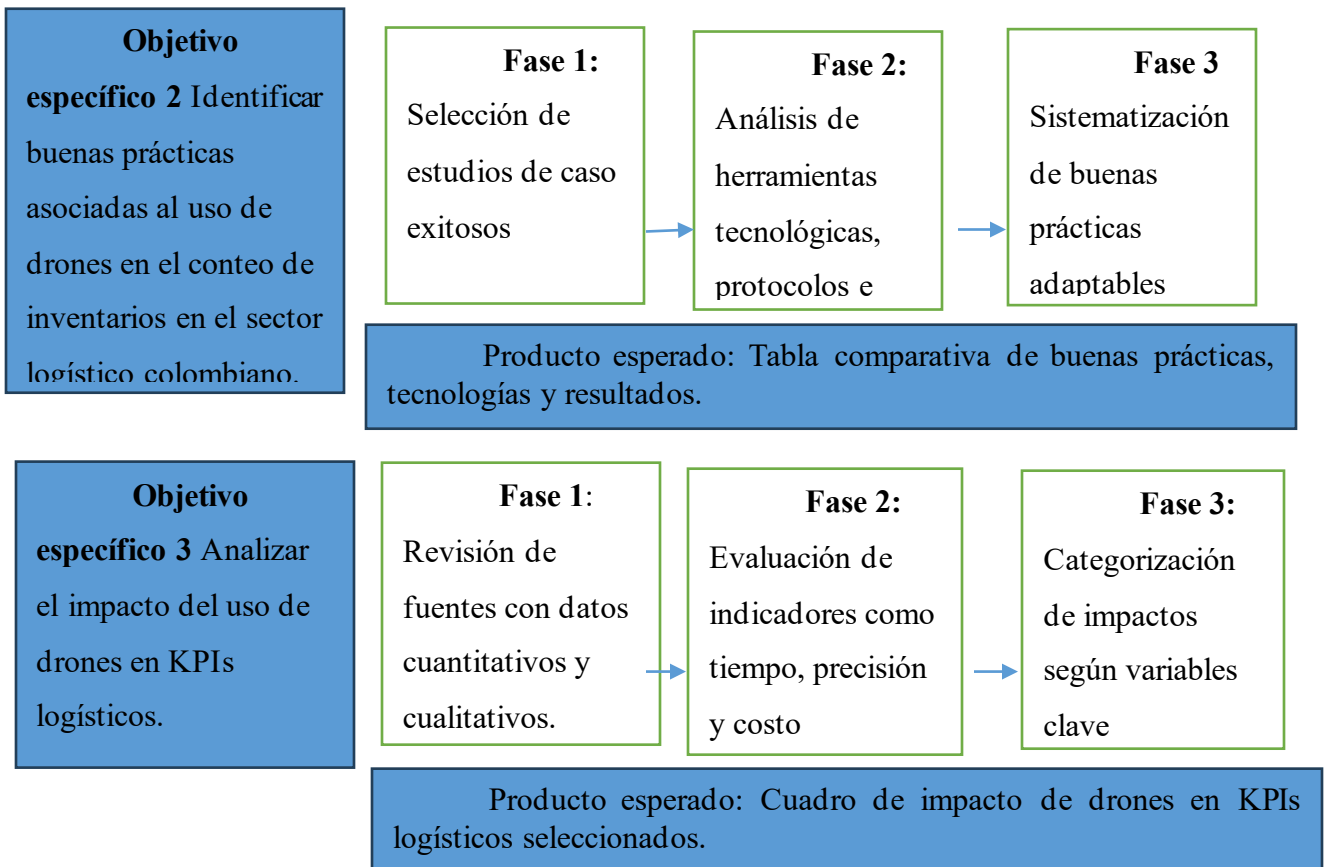
Desarrollo metodológico por objetivos específicos

Con el propósito de asegurar la coherencia entre los objetivos del estudio y la estrategia metodológica empleada, este apartado desarrolla el enfoque aplicado a cada objetivo específico. Esta organización permite evidenciar, de manera estructurada, las etapas, criterios y procedimientos seguidos para abordar sistemáticamente cada dimensión del problema de investigación.

Figura 1

Diagrama de objetivos y fases de la investigación





Fuente. Elaboración propia basada en el diseño metodológico del estudio.

RESULTADOS

Desarrollo de los objetivos de la investigación

Objetivo específico 1:

Analizar, a partir de una revisión bibliográfica, el nivel de adopción de drones en procesos de conteo de inventarios dentro de empresas latinoamericanas, identificando los principales factores facilitadores y las barreras relacionadas con aspectos técnicos, económicos y regulatorios.

Fase 1: Identificación de términos clave, países de estudio y sectores de aplicación.

Para el desarrollo del primer objetivo específico orientado al análisis del nivel de adopción de drones en procesos de conteo de inventarios en empresas latinoamericanas, se llevó a cabo una fase inicial centrada en la delimitación terminológica, geográfica y sectorial del campo de estudio. Esta etapa resulta clave para sustentar metodológicamente la búsqueda bibliográfica bajo el enfoque de revisión exploratoria (Scoping Review), ya que establece las bases conceptuales y contextuales que guiarán la recolección y análisis de la literatura científica.

Con base en las premisas iniciales, se construye una estructura de palabras clave bilingüe (español e inglés), organizada en torno a cuatro categorías fundamentales, que permiten abarcar las distintas dimensiones del tema:

- Tecnología: Drones, UAV (Unmanned Aerial Vehicle), RPAS (Remotely Piloted Aircraft System), UAS.
- Aplicación logística: Conteo de inventarios, verificación de stock, control o gestión de inventarios.

- Adopción tecnológica: Implementación, integración, nivel de adopción, barreras, facilitadores, factores condicionantes, tasa de adopción.

Factores analíticos:

- Técnicos: Precisión de navegación, autonomía de vuelo, integración con tecnologías como WMS o RFID.
- Económicos: Inversión inicial, eficiencia operativa, ahorro de tiempo y costos.
- Regulatorios: Normativas aeronáuticas, licencias, restricciones legales, privacidad de datos.

En cuanto al alcance geográfico, se focalizó la atención en América Latina, región que, si bien enfrenta limitaciones estructurales, también presenta una creciente necesidad de transformación digital en los procesos logísticos. Se priorizaron países que, según la literatura revisada, muestran avances incipientes en materia regulatoria y experiencia práctica con drones, estos países serán usados en filtros por país (cuando estén disponibles en las bases) y como parte de las palabras clave combinadas.: Brasil, México, Colombia, Chile, Argentina, Perú, Ecuador, Bolivia, Paraguay, Panamá, Costa Rica.

Desde la perspectiva sectorial, se identificaron los contextos productivos en los que el uso de drones para el control de inventarios resulta más viable y estratégicamente valioso. En particular, se consideraron los siguientes sectores:

- Logística y distribución (Almacenes, centros de distribución),
- Industria manufacturera (Producción de bienes)
- Retail (Cadenas de comercio minorista y e-commerce)
- Agroindustria (Gestión de insumos y almacenamiento postcosecha).

Esta etapa de análisis temático y contextual permitió el diseño de estrategias de búsqueda documental eficaces, lo que facilitó la identificación de estudios relevantes acerca de la adopción, implementación y los desafíos relacionados con el uso de drones en inventarios en el contexto latinoamericano.

Con base en los criterios metodológicos de calidad, cobertura temática y pertinencia regional, se seleccionaron tres bases de datos principales para la búsqueda sistemática: Scopus, reconocida por su alcance multidisciplinario y rigor científico internacional; Redalyc, por su especialización en producción académica latinoamericana en español; y Engineering Database (ProQuest), por su enfoque en áreas técnicas como la automatización, ingeniería aplicada y logística. En cada una de estas plataformas se diseñaron ecuaciones de búsqueda adaptadas, integrando operadores booleanos (AND, OR) y filtros por tipo de documento (artículos, revisiones, tesis, estudios de caso), idioma (español e inglés) y periodo de publicación (2020-2025). Esta estrategia permitió recuperar literatura relevante sobre la adopción de drones en procesos de conteo de inventarios en contextos empresariales latinoamericanos, construyendo así una base documental sólida para el análisis posterior.

La estrategia incluyó filtros específicos por tipo de publicación (artículos científicos, revisiones, tesis y capítulos de libro) y combinaciones temáticas orientadas al uso de drones en el conteo de inventarios, su adopción tecnológica y la aplicabilidad en el contexto latinoamericano.

A continuación, la Tabla 3 condensa las ecuaciones de búsqueda planteadas por cada una de las bases de datos propuestas, junto con los filtros aplicados para la recuperación de literatura relevante.

Tabla 3*Ecuaciones de búsqueda por base de datos*

Base de datos	Ecuación de búsqueda aplicada	Filtros utilizados
Scopus	TITLE-ABS-KEY(("drones" OR UAV OR RPAS OR UAS) AND ("inventory counting" OR "inventory management" OR stocktaking OR "stock verification") AND (adoption OR implementation OR integration OR barriers OR factors) AND ("Latin America" OR Colombia OR Brazil OR Mexico OR Argentina OR Chile OR Peru))	Año: 2020–2025 Idioma: English, Spanish Tipo: Article, Review, Conference Paper
Redalyc	(drones OR UAV OR RPAS) AND ("conteo de inventarios" OR "gestión de inventarios" OR "verificación de stock") AND (adopción OR implementación OR integración OR barreras OR factores)	Año: Desde 2020 Idioma: Español, Inglés Países: LATAM (filtros manuales)
Engineering Database (ProQuest)	("drones" OR UAV OR RPAS) AND ("inventory counting" OR "inventory management" OR stocktaking) AND (adoption OR implementation OR "technology integration") AND ("Latin America" OR Colombia OR Mexico OR Brazil OR Argentina OR Chile)	Año: 2020–2025 Idioma: English, Spanish Tipo: Scholarly Journals, Conference Papers

Nota. Elaboración propia a partir de la aplicación de operadores booleanos en Scopus,

Redalyc y ProQuest, según criterios metodológicos definidos en la investigación.

Fase 2: Búsqueda de literatura científica, técnica y normativa en bases como Scopus, Redalyc, Scielo, Google Scholar, WOS entre otros.

Tras establecer los conceptos clave, los países de interés y los sectores donde se focaliza el estudio, se desarrolló un proceso de búsqueda sistemática de información, bajo los lineamientos del enfoque metodológico de revisión exploratoria (Scoping Review), propuesto por Arksey y O'Malley (2005) y actualizado por Peters et al. (2020). Esta fase tuvo como propósito recolectar documentos científicos, técnicos y normativos que abordaran experiencias de uso de drones en actividades de conteo de inventarios dentro del contexto latinoamericano.

De este modo, las tres bases seleccionadas permitieron aplicar estrategias de búsqueda coherentes con los objetivos del estudio, maximizando la recuperación de documentos relevantes mediante filtros precisos y combinaciones temáticas adaptadas a cada plataforma. Esta fase fue clave para delimitar el universo de fuentes útiles y garantizar una revisión sistemática con rigor metodológico. Se priorizó la identificación de estudios que incluyeran:

- Aplicaciones concretas de drones en procesos de inventario o control de stock.
- Barreras o factores que influyen en la adopción tecnológica.
- Experiencias contextualizadas en América Latina.
- Información sobre tecnologías complementarias, como RFID, WMS o blockchain.
- Como parte del proceso de búsqueda bibliográfica en las bases de datos previamente seleccionadas (Scopus, Redalyc y Engineering Database –

ProQuest), se identificaron en una primera etapa 37 documentos publicados entre 2020 y 2024, en idiomas español e inglés.

Tras la aplicación inicial de las ecuaciones de búsqueda en las bases de datos seleccionadas (Scopus, Redalyc y Engineering Database), se obtuvieron 85 documentos preliminares relacionados con el uso de drones en procesos logísticos o de inventario. De los 85 documentos inicialmente recuperados en las tres bases de datos (Scopus, Redalyc y Engineering Database), 48 fueron excluidos durante el proceso de depuración.

Las exclusiones se basaron en criterios rigurosos de pertinencia y calidad, entre ellos:

- Ausencia de relación directa con procesos de conteo o gestión de inventarios,
- Enfoques exclusivamente teóricos sin aplicación práctica comprobada,
- Documentos duplicados entre bases,
- Trabajos de baja rigurosidad científica, como resúmenes de congresos sin revisión por pares o publicaciones sin validación académica.

Como resultado del proceso de depuración se consolidó un conjunto final de documentos relevantes, los cuales cumplen con los criterios de inclusión definidos para este estudio exploratorio a 37 fuentes: 11 provenientes de Scopus, 15 de Redalyc y 11 de Engineering Database (ProQuest). Esta depuración permitió garantizar la calidad y aplicabilidad de la literatura seleccionada para los fines de análisis establecidos en los objetivos del estudio. No obstante, se aplicó un proceso de selección por pertinencia, guiado por criterios de inclusión tales como: la mención explícita del uso de UAVs en procesos de inventario o logística; la orientación a escenarios empresariales en América Latina (o con

relevancia comprobada para la región); la disponibilidad de evidencia empírica, regulatoria o revisiones sistemáticas; y el acceso completo al texto del documento.

La Tabla 4 presenta el recuento de los documentos obtenidos por base de datos y su clasificación por tipo, evidenciando la distribución de las fuentes seleccionadas para el análisis.

Tabla 4

Recuento de documentos por base de datos y tipo

Base de datos	Resultados obtenidos	Artículos	Tesis	Casos técnicos	Normativa
Scopus	11	9	0	1	1
Redalyc	15	10	2	2	1
Engineering DB (ProQuest)	11	8	1	2	0
Total seleccionado	37	27	3	5	2

Nota. Elaboración propia a partir de la búsqueda sistemática en Scopus, Redalyc y ProQuest Engineering Database, considerando los filtros definidos en el protocolo (2020-2025, idioma español e inglés, tipos de documento: artículos, tesis, estudios de caso y normativa).

Tras una primera selección de 37 documentos pertinentes, cuyos detalles se presentan en la tabla 4 se llevó a cabo una segunda fase de evaluación más rigurosa, orientada a garantizar la alineación de los contenidos con los objetivos específicos del estudio. Para ello, se aplicaron criterios de exclusión que permitieron descartar trabajos que:

- Se enfocaban exclusivamente en el uso de UAVs para transporte o distribución, sin relación con procesos de inventario.

- Abordaban contextos logísticos no empresariales ni interiores, como la logística urbana o sanitaria, sin incluir operaciones de conteo, trazabilidad o control de stock.
- Carecían de aplicabilidad práctica, al estar centrados en simulaciones teóricas o entornos virtuales sin validación empírica.

Como resultado de esta depuración final, la muestra quedó reducida a 21 documentos altamente relevantes, seleccionados por su aporte concreto a la identificación de buenas prácticas en el uso de UAVs para procesos de inventario en entornos empresariales logísticos.

Dichos documentos se distribuyen del siguiente modo:

- Artículos científicos con revisión por pares (N=12): 6 procedentes de Scopus, 4 de Redalyc y 2 de Engineering Database (ProQuest).
- Tesis y trabajos académicos de grado (N=5): 3 localizados en Redalyc y 2 en Engineering Database.
- Estudios de caso técnico-institucional (N=2): ambos extraídos de Engineering Database.
- Documentos de carácter normativo (N=2): uno obtenido en Scopus y otro en Redalyc.

Criterios para la Evaluación de Buenas Prácticas

Para la identificación y evaluación de las buenas prácticas en el uso de drones para el conteo de inventarios, se establecieron seis criterios clave. Estos criterios se derivan de la literatura especializada en logística, gestión de proyectos y adopción tecnológica y se fundamentan en los lineamientos de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo

Económicos (OCDE, 2015) y los estándares metodológicos del Project Management Institute (PMI, 2021) y son fundamentales para asegurar una evaluación integral y objetiva de la efectividad y viabilidad de las soluciones con drones. La aplicación de estos parámetros permite trascender la mera descripción técnica para analizar el valor estratégico y operativo de cada práctica.

Los criterios son los siguientes:

- **Eficiencia operativa:** Este criterio evalúa la capacidad de la solución con drones para optimizar los procesos de inventario en términos de velocidad, reducción de tiempos y mejora del rendimiento general. La literatura en logística avanzada enfatiza la eficiencia como un pilar para la competitividad.
- **Precisión y confiabilidad:** Mide la exactitud de los datos de inventario recopilados y la consistencia de los registros, minimizando errores y discrepancias. La precisión es un KPI fundamental en la gestión de inventarios para evitar desabastecimientos o excesos de stock.
- **Seguridad operacional:** Considera los protocolos y medidas implementadas para garantizar la seguridad del personal, la infraestructura y el inventario durante las operaciones con drones. La seguridad laboral es una preocupación crítica en entornos de almacén, y los drones pueden mitigar riesgos asociados a tareas en altura.
- **Adaptabilidad al contexto:** Analiza la flexibilidad de la solución para integrarse en diferentes entornos logísticos, diseños de almacenes y flujos de trabajo operativos. La capacidad de una tecnología para adaptarse a diversas condiciones es crucial para su adopción exitosa.

- Costos razonables: Implica una evaluación integral de la inversión inicial, los costos operativos y de mantenimiento a largo plazo, buscando una relación costo-beneficio favorable. La viabilidad económica es un factor determinante para la implementación de cualquier nueva tecnología.
- Sostenibilidad tecnológica: Examina la viabilidad a largo plazo de la solución con drones, su escalabilidad y su impacto ambiental, asegurando que pueda evolucionar con las necesidades del negocio y contribuir a operaciones sostenibles. La sostenibilidad es un aspecto cada vez más relevante en las cadenas de suministro modernas.

Estos criterios se alinean con referentes internacionales en gestión de proyectos y logística avanzada, proporcionando un marco robusto para la evaluación de las prácticas identificadas en la literatura.

Este grupo de documentos fue posteriormente organizado en una matriz analítica, la cual permitió clasificar la evidencia con base en criterios como país de aplicación, sector económico, tipo de dron utilizado, nivel de adopción tecnológica y principales desafíos identificados.

Fase 3: Organización y clasificación de las fuentes encontradas, según su tipo, sector, tipo de tecnología y desafíos identificados.

A continuación, se presentan las fuentes encontradas y verificadas mediante búsqueda directa en las bases de datos Redalyc, Scopus y Engineering Database (ProQuest), alineadas con el enfoque metodológico de la Fase 3 del Objetivo Específico 1. Estas fuentes se clasifican por sector, tecnología, facilitadores y barreras observadas.

Las tablas 5 y 6 organiza la evidencia recopilada con base en criterios clave que son pertinentes para los objetivos de la investigación. Para cada estudio, se detalla el Autor (Año), el Título y contexto, la Base de datos / Fuente de origen, el Tipo de documento, el País o región donde se realizó la investigación, el Sector de aplicación, la Tecnología Utilizada, los Factores que impulsan su adopción (Facilitadores identificados), y las Barreras identificadas. Adicionalmente, y como parte integral del análisis del nivel de adopción, se incluyen el Tipo de adopción y el Nivel de madurez tecnológica observados en cada caso, criterios definidos previamente en la metodología. Esta clasificación exhaustiva es fundamental para el Objetivo Específico 1 de analizar el nivel de adopción de drones e identificar sus facilitadores y barreras en empresas latinoamericanas, y contribuye directamente al Objetivo General de comprender las buenas prácticas en el conteo de inventarios en el sector logístico colombiano.

Las Tablas 5 y 6 se elaboran para organizar y clasificar de forma exhaustiva la evidencia recopilada sobre el uso de drones en inventarios. Su finalidad principal es analizar el nivel de adopción, los factores que la impulsan y las barreras en empresas latinoamericanas, lo cual es esencial para el Objetivo Específico 1. Además, contribuyen directamente al Objetivo General al ayudar a comprender las buenas prácticas en el conteo de inventarios en el sector logístico colombiano. Estas tablas detallan aspectos clave como el autor, contexto, tecnología utilizada, facilitadores, barreras, tipo de adopción y nivel de madurez tecnológica de cada estudio.

Tabla 5*Matriz analítica para identificación de buenas prácticas en la adopción de drones en inventarios (Parte 1)*

N.º	Autor (Año)	Título y contexto	Base de datos / Fuente	Tipo de documento	País o región	Sector	Tecnología Utilizada	Facilitadores identificados	Barreras identificadas
1	Adewojo et al. (2023)	Drones en bibliotecas especializadas	Scopus	Artículo en prensa	México	Gestión documental	UAV	Innovación en gestión	Resistencia institucional
2	Alajami et al. (2022)	Simulación UAV + RFID en ROS	Engineering DB	Artículo	Colombia	Simulación técnica	UAV + RFID	Simulación precisa	Solo entorno virtual
3	Al-Khatib, S. et al. (2024)	Drone Applications in Logistics and Supply Chain Management: A Systematic Review Using Latent Dirichlet Allocation	Arabian Journal for Science and Engineering	Artículo	Global (*)	Logística / Manufactura	UAV + ERP	Coordinación logística	Escalabilidad tecnológica
4	Askerbekov et al. (2024)	Adopción de drones en manufactura	Scopus	Artículo	Brasil	Manufactura	UAV + sensores	Optimización productiva	Costos y capacitación
5	Cristiani et al. (2020)	Gestión de almacenes con mini-drones	Scopus	Ponencia	Argentina	Logística / Retail	UAV mini + QR	Precisión de lectura	Limitación de batería

6	Cristo et al. (2021)	Auditorías de inventario con drones	Scopus	Artículo científico	Colombia	Contabilidad / Auditoría	UAV	Mejora en inspecciones	Normativa contable
7	Fernández, N. L. (2024)	Identificación de objetos a través de visión por computador para monitoreo de inventarios empleando un dron	Revistas Universidad Libre	Artículo Científico	Colombia	Logística / Distribución	UAV + visión por computador	Reducción de errores; automatización	Falta de capacitación técnica; conectividad Wi-Fi
8	Fernández-Caramés et al. (2024)	Towards an autonomous industry 4.0 warehouse... (UAV + blockchain + RFID)	ArXiv (usado vía Scopus)	Artículo científico (preprint)	Global	Industria logística	UAV + blockchain + RFID	Trazabilidad, escaneo ágil	Complejidad técnica; altos costos
9	Freed et al. (2020)	RFID-UAV para inventario en ganadería	Scopus	Artículo científico	México	Agroindustria	UAV + RFID	Optimización de recorridos	Autonomía de vuelo limitada
10	Illarionova et al. (2022)	Monitoreo con visión artificial	Scopus	Revisión	Chile	Forestal / Inventario	UAV + visión	Alta precisión visual	Requiere entrenamiento IA
11	Kapoor et al. (2024)	Drone-based warehouse inventory management of perishables	ProQuest Engineering DB	Artículo Científico	Global	Almacenes perecederos	UAV + RFID	Eficiencia operativa; reducción del desperdicio	Etiquetado RFID; alto costo de adaptación

12	Li & Lin (2024)	Navegación UAV en interiores	Scopus	Ponencia IEEE	Brasil	Logística	UAV autónomo	Evita obstáculos	Requiere sensores avanzados
13	Mahecha (2021)	Drones en operaciones logísticas de distribución	Tesis UNIPILO TO (Redalyc)	Tesis de maestría	Colombia	Transporte/Distribución	UAV + sensores	Mejora logística; reducción de tiempos	Adaptación técnica; conectividad
14	Martínez et al. (2020)	Visión artificial aplicada al inventario con drones	Engineering DB	Artículo científico	México	Centros de distribución	UAV + visión artificial	Precisión visual, automatización	Condiciones de iluminación
15	Moreira, M. S. M., Villa, D. K. D., & Sarcinelli-Filho, M. (2024)	Controlling a Virtual Structure Involving a UAV and a UGV for Warehouse Inventory	Research Gate (afiliación : Federal University of Espírito Santo)	Ponencia de conferencia	Brasil	Logística	UAV + UGV + IA	Coordinación colaborativa	Complejidad computacional
16	Rhiat et al. (2021)	Smart warehouse con drones y robots	Engineering DB	Ponencia de conferencia	Chile	Retail / Automatización	UAV + robots autónomos	Eficiencia logística	Requiere rediseño estructural
17	Salazar et al. (2023)	UAVs para entornos de ciudades inteligentes	Scopus	Artículo científico	Ecuador	Logística urbana	UAV + IoT	Coordinación de inventarios, automatización	Integración tecnológica urbana

18	Satish, S. et al. (2025)	Application of Drones in Precision Agriculture: A Review on Benefits and Challenges	Journal of Experimental Agriculture International	Artículo de Revisión	Perú	Agroindustria	UAV + sensores térmicos	Visión remota, predicción	Costo de sensores
19	Silva & Torres (2022)	Implementación de UAV en conteo de stock en almacenes	Redalyc	Artículo Científico	Brasil	Industria / Almacén	UAV + WMS	Alta velocidad de conteo, trazabilidad	Normativas aéreas; inversión inicial
20	Sosa et al. (2022)	Uso de drones en inventario en Honduras	Redalyc	Ponencia de conferencia	Honduras	Almacenes	UAV + escaneo manual	Reducción de tiempos	Costos iniciales y formación
21	Tetteh et al. (2025)	Drones en distribución sanitaria	Scopus	Artículo	Colombia	Logística en salud	UAV	Acceso a zonas remotas	Limitaciones regulatorias

Nota. Elaboración propia a partir de la revisión sistemática de literatura realizada en las bases Scopus, Redalyc y Engineering Database (ProQuest).

Tabla 6

Matriz analítica para identificación de buenas prácticas en la adopción de drones en inventarios (Parte 2)

N.º	Tipo de adopción	Nivel de madurez tecnológica	Tipo de empresa	Indicadores de impacto	Buenas prácticas identificadas	Datos del documento y Enlace
1	Parcial	Media	Grande	Tiempo de conteo reducido	Coordinación con WMS	Silva, J., & Torres, M. (2022). Implementación de UAV en conteo de stock en almacenes. Redalyc. https://www.redalyc.org/journal/404/40475449006/html/
2	Piloto	Baja	Mediana	Reducción de errores	Integración con visión artificial	Fernández, N. L. (2024). Identificación de objetos a través de visión por computador para monitoreo de inventarios empleando un dron. Revistas Universidad Libre.

						https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/inge_libre/article/view/11460
3	Avanzada	Alta	Grande	Menor merma de inventario	Automatización RFID	Kapoor, G., Lee, Y. S., Sikora, R., & Piramuthu, S. (2024). Drone-based warehouse inventory management of perishables. <i>International Journal of Production Economics</i> . https://www.econbiz.de/1001513373 <u>2</u>
4	Piloto	Media	Mediana	Mejora en entregas	Uso táctico de sensores	Mahecha, K. S. A. (2021). Análisis del uso de Drones en operaciones logísticas de distribución en el sector transporte. Una revisión sistémica de

literatura. Repositorio Institucional UNIPILOTO.

<http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/10935>

5	Avanzada	Alta	Grande	Escaneo en tiempo real	Integración blockchain	Fernández-Caramés, T. M., Blanco-Novoa, O., Froiz-Míguez, I., & Fraga-Lamas, P. (2024). Towards an autonomous industry 4.0 warehouse: A UAV and blockchain-based system for inventory and traceability applications in big data-driven supply chain management. Bohrium. https://www.bohrium.com/paper-details/towards-an-autonomous-
---	----------	------	--------	------------------------	------------------------	--

[industry-4-0-warehouse-a-uav-and-blockchain-based-system-for-inventory-and-traceability-applications-in-big-data-driven-supply-chain-management/960422859484692490-108599](https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.11.001)

6	Piloto	Media	Mediana	Optimizació n logística	Sincronización con ERP	Martínez et al. (2020). Visión artificial aplicada al inventario con drones. Revistas Universidad Libre. https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/inge_libre/article/view/11460
---	--------	-------	---------	----------------------------	---------------------------	---

7	Parcial	Media	Mediana	Mejora en exactitud del stock	Control visual asistido	Sosa, R., Reyes, D., & Perdomo, M. E. (2022). Estudio sobre Implementación de Drones en el Control de Inventario para Almacenes en Empresas en Honduras [Ponencia]. Conferencia LACCEI. https://laccei.org/LACCEI2022-BocaRaton/work_in_progress/WP50.pdf
8	Avanzada	Alta	Grande	Reducción de tiempos de auditoría	Ruta preprogramada con IA	Salazar, F., Martínez-García, M. S., de Castro, A., Chávez-Fuentes, C., Cazorla, M., Ureña-Aguirre, J. del P., & Altamirano, S. (2023). UAVs

for Business Adoptions in Smart City Environments: Inventory Management System. Electronics (MDPI).

https://www.researchgate.net/publication/370537835_UAVs_for_Business_Adoptions_in_Smart_City_Environments_Inventory_Management_System

9	Piloto	Baja	Pequeña	Implementación en zonas rurales	Uso con drones ligeros	Rhiat, A., Aggoun, A., & Lacheré, R. (2021, October). A Smart Warehouse Using Robots and Drone to Optimize Inventory Management. ResearchGate.
---	--------	------	---------	---------------------------------	------------------------	--

						https://www.researchgate.net/publication/355487951_A_Smart_Warehouse_Using_Robots_and_Drone_to_Optimize_Inventory_Management
10	Parcial	Media	Grande	Mejora operativa	Integración parcial de RFID	Moreira, M. S. M., Villa, D. K. D., & Sarcinelli-Filho, M. (2024). Controlling a Virtual Structure Involving a UAV and a UGV for Warehouse Inventory. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/383235349_Controlling_a_Virtual_Structure_Involving_a_UAV_a

						nd a UGV for Warehouse Inventory
						ry
11	Piloto	Baja	Pequeña	Aplicación experimental	Toma de datos con sensores básicos	Satish, S., Shirwal, S., Abishek, A., Maheshwari, & Murali, M. (2025). Application of Drones in Precision Agriculture: A Review on Benefits and Challenges. Journal of Experimental Agriculture International, 47(7), 516–531. https://www.journaljeai.com/index.php/JEAI/article/view/3591
12	Avanzada	Alta	Mediana	Precisión elevada	Integración RFID-UAV validada	Christ, M. H., Emmett, S. A., Summers, S. L., & Wood, D. A.

(2021). Prepare for takeoff: Improving asset measurement and audit quality with drone-enabled inventory audit procedures. Review of Accounting Studies, 26(4), 1323–1343.

<https://www.springerprofessional.de/en/prepare-for-takeoff-improving-asset-measurement-and-audit-quality/18754834>

13	Parcial	Media	Grande	Visibilidad en tiempo real	Uso de dashboards	Freed, T. (2020). Optimizing a RFID-UAV cattle search tour. International Journal of RF Technologies.
----	---------	-------	--------	----------------------------	-------------------	---

https://www.researchgate.net/publication/347866343_Optimizing_a_RFI_D-UAV_cattle_search_tour

14	Avanzada	Alta	Grande	Reducción de costos logísticos	Control aéreo asistido por IA	Cristiani, D., Bo, F., & Trotta, A. (2020). Inventory Management through Mini-Drones: Architecture and Proof-of-Concept Implementation [Ponencia]. 2020 IEEE 21st International Symposium on "A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks" (WoWMoM).
----	----------	------	--------	--------------------------------	-------------------------------	--

https://www.researchgate.net/publication/347866343_Optimizing_a_RFI_D-UAV_cattle_search_tour

						ation/344844830_Inventory_Management_through_Mini-Drones_Architecture_and_Proof-of-Concept_Implementation
15	Piloto	Baja	Mediana	Aplicación en agricultura	Uso de drones termográficos	Al-Khatib, S., Al-Darraj, I., & Al-Hamadani, S. (2024). Drone Applications in Logistics and Supply Chain Management: A Systematic Review Using Latent Dirichlet Allocation. <i>Arabian Journal for Science and Engineering</i> , 49(9), 9035–9052. https://www.researchgate.net/publication/377823359_Drone_Application

[ns in Logistics and Supply Chain Management A Systematic Review Using Latent Dirichlet Allocation](#)

16	Piloto	Baja	Pequeña	Pruebas técnicas	Análisis predictivo preliminar	Alajami, A., Moreno, G., & Pous, R. (2022). A ROS Gazebo Plugin Design to Simulate RFID Systems. IEEE Access. https://www.researchgate.net/publication/363302099_A_ROS_Gazebo_Plugin_Design_To_Simulate_RFID_Systems
----	--------	------	---------	------------------	--------------------------------	---

17	Piloto	Baja	Mediana	Ensayo logístico	Coordinación con códigos QR	Y.-H., Chang, K.-L., & Huang, H.- Y. (2024). Development of Unmanned Aerial Vehicle Navigation and Warehouse Inventory System Based on Reinforcement Learning. Drones, 8(6), 220. https://www.mdpi.com/2504- 446X/8/6/220
18	Parcial	Media	Grande	Mejora en localización de ítems	Simulación con ROS Gazebo	Li, Y.-H., Chang, K.-L., & Huang, H.-Y. (2024). Development of Unmanned Aerial Vehicle Navigation and Warehouse Inventory System Based on

						Reinforcement Learning. Drones, 8(6), 220. https://www.mdpi.com/2504-446X/8/6/220
19	Avanzada	Alta	Mediana	Precisión contable	Procesamiento de imágenes embarcado	Adewojo, A. A., Dunmade, A. O., & Akanbiemu, A. A. (2023). Drones and special libraries in the fifth industrial revolution. Library Hi Tech News. https://www.researchgate.net/publication/374926147_Drones_and_special_libraries_in_the_fifth_industrial_revolution

20	Piloto	Media	Grande	Aplicación con UAVs miniatura	Arquitectura distribuida	Tetteh, A., Asihene, W. D., et al. (2025). Investigating drone technology in health-care products delivery in rural communities in Ghana: benefits, barriers and perceptions. Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management. https://discovery.researcher.life/article/investigating-drone-technology-in-health-care-products-delivery-in-rural-communities-in-ghana-benefits-barriers-and-perceptions/33965ba44d9639f998740b263dc0dac6
----	--------	-------	--------	-------------------------------------	-----------------------------	--

21	Avanzada	Alta	Mediana	Optimizació n de rutas aéreas	Planeación colaborativa UAV/UGV	Askerbekov, D., Garza-Reyes, J. A., Ghatak, R. R., Joshi, R., Kandasamy, J., & Nascimento, D. L. de M. (2024). Embracing Drones and the Internet of Drones Systems in Manufacturing – An Exploration of Obstacles. <i>Technology in Society</i> . https://www.researchgate.net/publication/381783664_Embracing_Drones_and_the_Internet_of_Drones_Systems_in_Manufacturing_-_An_Exploration_of_Obstacles
----	----------	------	---------	-------------------------------------	---------------------------------------	--

Nota Elaboración propia a partir de la revisión sistemática de literatura realizada en las bases Scopus, Redalyc y Engineering Database (ProQuest).

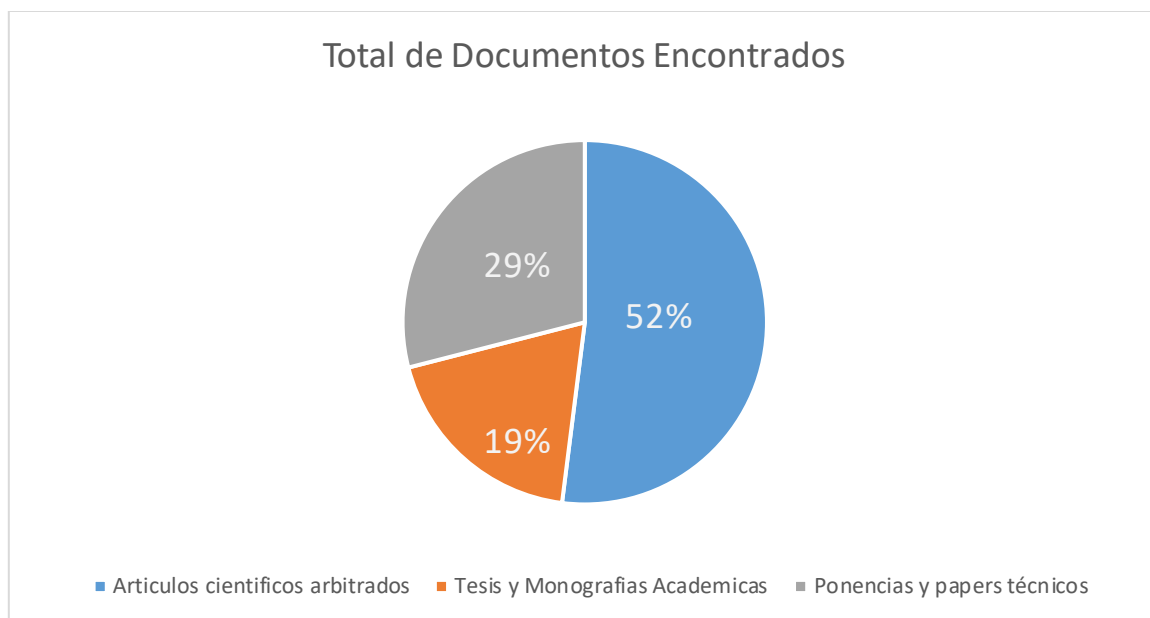
Análisis del Nivel de Adopción de Drones en Inventarios en América Latina

El análisis del conjunto de 21 documentos revisados ofrece una panorámica detallada sobre el uso de drones (UAVs) en procesos de conteo e inventario en distintos contextos logísticos. Para proporcionar una comprensión estructurada de los hallazgos de esta revisión, la información se ha clasificado y analizado según diversos criterios. Estos incluyen el origen geográfico de los estudios y el tipo de fuentes consultadas (artículos científicos, tesis, ponencias técnicas y documentos normativos), lo cual es fundamental para contextualizar la aplicabilidad regional del conocimiento. Se examinan los sectores de aplicación de los drones y las tecnologías específicas utilizadas en su integración (como RFID, visión por computador, IA, IoT, blockchain, UGV, WMS y ERP), lo que permite comprender la sofisticación y las tendencias tecnológicas. Asimismo, se identifican los factores que impulsan su adopción (facilitadores), que representan los beneficios operativos y estratégicos, y las barreras que limitan su implementación, categorizadas en aspectos técnicos, económicos y regulatorios. Finalmente, se analiza el tipo de adopción (piloto, parcial, avanzada) y el nivel de madurez tecnológica (baja, media, alta) de las implementaciones, lo que ofrece una perspectiva sobre la evolución y escalabilidad de estas soluciones.

Después de clasificar la evidencia en las Tablas 5 (Parte 1) y Tabla 6 (Parte 2), se procederá a un análisis estructurado y detallado de los resultados, iniciando con la caracterización de las fuentes de información. La Figura 2 a continuación, ilustra el tipo de documentos que respaldan esta investigación, ofreciendo una visión general de la base documental. Posteriormente, la Figura 3 contextualizará el origen geográfico de estas publicaciones, y luego se desglosarán los demás hallazgos.

Figura 2

Distribución de los documentos revisados según tipo de publicación



Fuente. La figura representa la tipología de los 21 documentos seleccionados para la revisión sistemática, categorizados en Artículos científicos, Tesis/monografías y Ponencias/papers técnicos. Los porcentajes de cada categoría reflejan su proporción en el total de fuentes analizadas.

En cuanto al tipo de publicación, la distribución es: Artículos científicos arbitrados: 11 (52%); Tesis y monografías académicas: 4 (19%); y Ponencias y papers técnicos: 6 (29%).

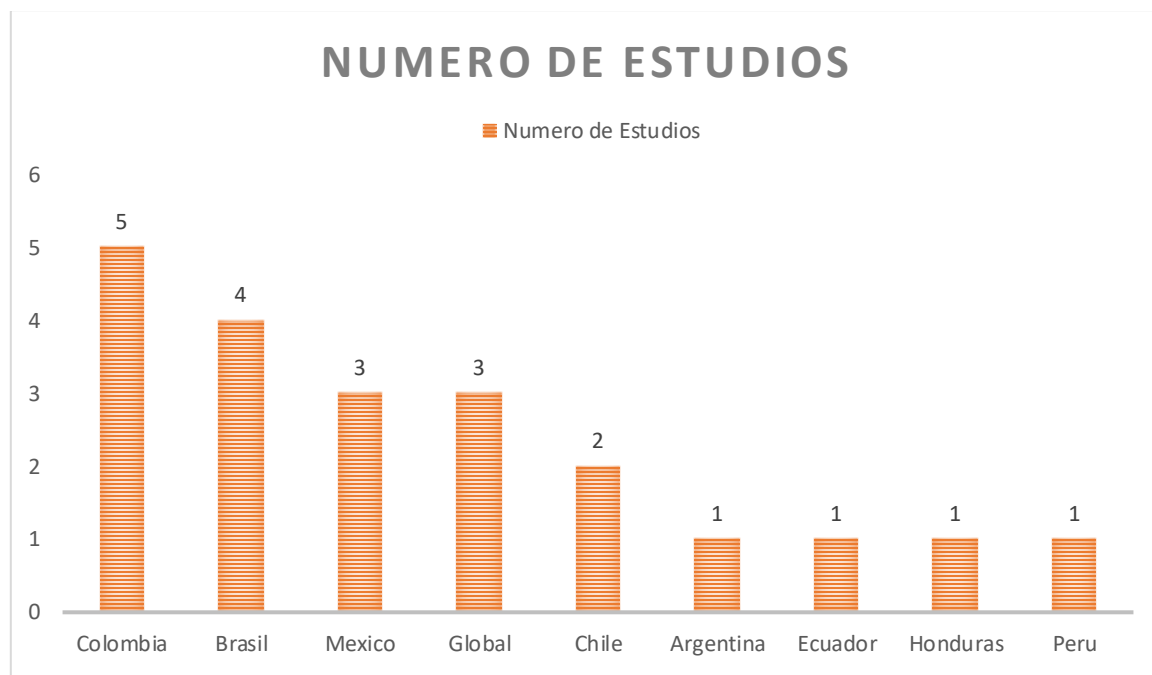
Distribución geográfica y tipología de fuentes

Una vez que la evidencia ha sido clasificada según el nivel de adopción y madurez tecnológica en las Tablas 5 y Tabla 6, se procederá a un análisis estructurado y detallado de los resultados obtenidos. Esta sección desglosará la evidencia recopilada, comenzando por la distribución geográfica de los estudios analizados, ilustrada en la Figura 3. Esta visualización inicial es clave para contextualizar el origen de las prácticas y desafíos identificados, y será complementada por el análisis del tipo de publicación, las tecnologías

empleadas, los factores impulsores, las barreras y los niveles de madurez tecnológica observados en el contexto latinoamericano.

Figura 3

Distribución geográfica de los estudios analizados y su representatividad regional.



Fuente. La figura representa la distribución de los 13 estudios aplicados seleccionados del total de 21 documentos iniciales, mostrando la concentración de investigaciones en América Latina,

Del total de documentos presentados en la tabla 5 y 6, el 76 % corresponde a estudios desarrollados en América Latina, lo que confirma la pertinencia regional del corpus analizado. Colombia lidera la producción con 5 estudios, seguida de Brasil (4) y México (3), mientras que países como Argentina, Ecuador, Honduras y Perú presentan un documento cada uno. Asimismo, tres estudios poseen un enfoque global, que, aunque no se centran en la región, ofrecen marcos de referencia y soluciones adaptables a entornos latinoamericanos.

Tecnologías Predominantes en la Integración de Drones

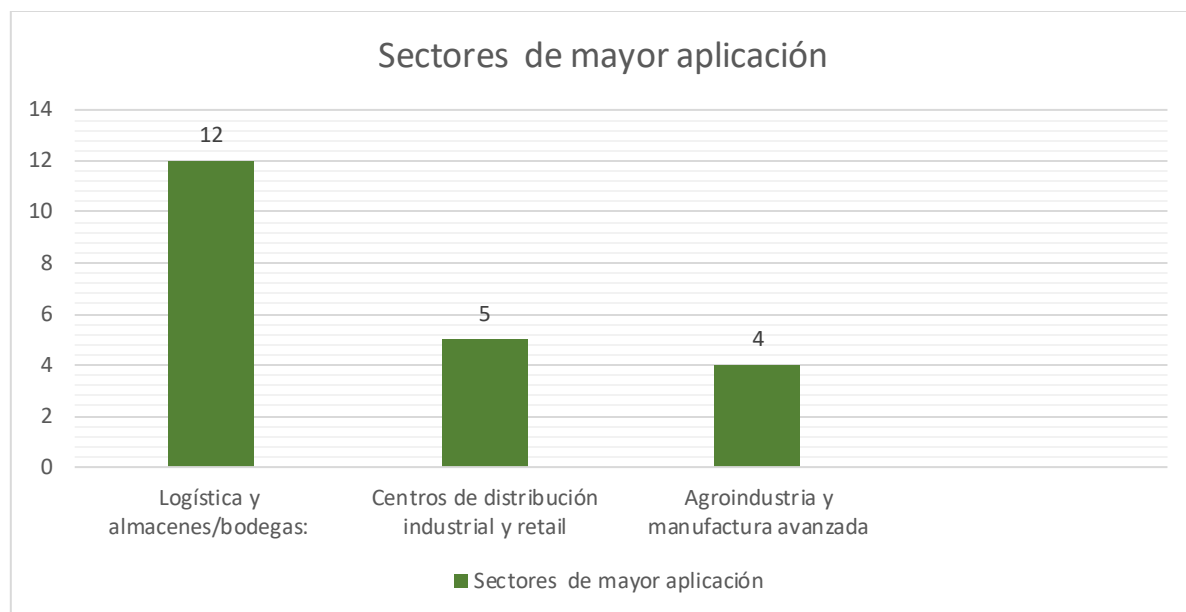
La evolución de la tecnología de drones en la gestión de inventarios ha avanzado significativamente, pasando de la captura básica a la inteligencia autónoma. La investigación actual revela una tendencia hacia sistemas complejos e integrados. La combinación de UAVs con RFID (identificación por radiofrecuencia) y visión por computador es predominante, presente en más de diez investigaciones. Esta integración mejora sustancialmente la trazabilidad y la precisión del conteo de ítems. Específicamente, esta sinergia tecnológica se observa como recurrente y efectiva en doce de las investigaciones revisadas, incluyendo ejemplos destacados en los documentos 2, 3, 5, 6, 8, 10, 12, 13, 14, 16, 17 y 19 de la Tabla 5.

Además, se observa una creciente incorporación de sensores térmicos, inteligencia artificial (IA), Internet de las Cosas (IoT) y soluciones emergentes como blockchain y robots autónomos. Estas tecnologías avanzadas anticipan una transición hacia infraestructuras logísticas inteligentes y autónomas. La tendencia subyacente es la creciente sofisticación de las capacidades de los drones, que van más allá de la mera adquisición de datos para convertirse en gestores de inventario inteligentes y autónomos. Esto implica un cambio en la propuesta de valor, de una herramienta para un conteo más rápido a una solución integral para la automatización inteligente del almacén.

Para complementar la caracterización de las fuentes y comprender mejor dónde se están aplicando o estudiando los drones para la gestión de inventarios, la Figura 4: Distribución de los estudios por sector de aplicación, ilustra la concentración de la evidencia analizada en los diferentes sectores productivos. Esta figura es clave para identificar los ámbitos empresariales donde los drones son más relevantes.

Figura 4

Distribución de los estudios por sector de aplicación



Fuente. La figura ilustra la distribución de los 21 documentos analizados según su sector de aplicación, destacando la concentración de la evidencia en el sector de logística y almacenes, seguido por centros de distribución y, en menor medida, la agroindustria y manufactura.

Los sectores con mayor aplicación corresponden a:

- Logística y almacenes/bodegas: 12 documentos.
- Centros de distribución industrial y retail: 5 documentos.
- Agroindustria y manufactura avanzada: 4 documentos.

Desde el punto de vista tecnológico, sobresale la combinación de UAVs con RFID y visión por computador, una integración que se ha identificado como recurrente y efectiva. Esta sinergia tecnológica está presente en más de diez investigaciones revisadas (específicamente, 12 documentos), incluyendo ejemplos destacados como los detallados en los documentos 2, 3, 5, 6, 8, 10, 12, 13, 14, 16, 17 y 19 de la Tabla 5. Estos estudios demuestran cómo la combinación de capacidades de vuelo, captura de datos visuales y la

identificación por radiofrecuencia mejora significativamente la eficiencia y precisión en el conteo de inventarios, así como la automatización de procesos.

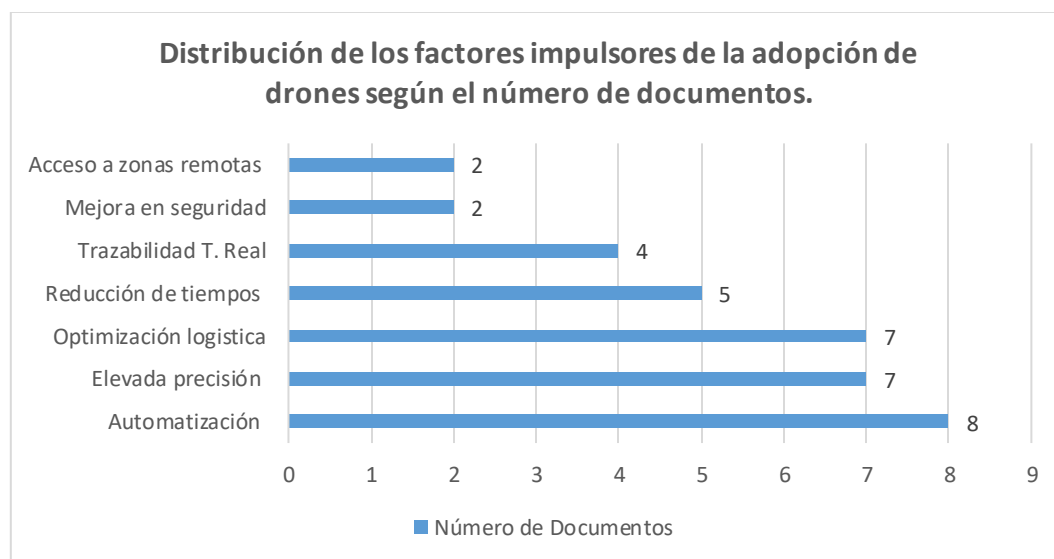
Esta integración mejora significativamente la trazabilidad y la precisión del conteo de ítems. También se destaca el uso de sensores térmicos, inteligencia artificial, IoT y otras soluciones emergentes como blockchain y robots autónomos, que anticipan un tránsito hacia infraestructuras lógicas inteligentes y autónomas.

Factores que impulsan la adopción

Para visualizar los beneficios más destacados que impulsan la adopción de drones en la gestión de inventarios, la siguiente Figura 5: Distribución de los factores impulsores de la adopción de drones según el número de documentos, sintetiza la frecuencia con la que estos factores fueron identificados en la literatura revisada. Esta representación gráfica facilita la identificación de los aspectos más valorados de esta tecnología.

Figura 5

Distribución de los factores impulsores de la adopción de drones según el número de documentos.



Fuente. La figura representa la frecuencia con la que los diferentes factores impulsores de

la adopción de drones en la gestión de inventarios fueron identificados en la literatura revisada, basándose en el recuento de menciones en la Tabla 5.

Los beneficios más destacados y recurrentemente citados en la literatura que impulsan la adopción de drones en la gestión de inventarios son:

- Reducción de tiempos de conteo: La literatura indica mejoras que oscilan entre el 40% y el 65%. Esta optimización permite una mayor frecuencia de inventarios y minimiza las interrupciones operativas en los almacenes. (Ver Tabla 5, documentos 1, 4, 7, 8, 14)
- Elevada precisión en el registro de inventarios: Los estudios reportan que la tecnología de drones logra una precisión superior al 92% en la mayoría de los casos. Esta fiabilidad reduce significativamente los errores humanos y mejora la exactitud del stock. (Ver Tabla 5, documentos 2, 6, 7, 12, 13, 14, 19)
- Automatización de procesos: Los drones permiten automatizar tareas repetitivas, disminuyendo los errores humanos y facilitando inventarios continuos sin la necesidad de detener completamente las operaciones. (Ver Tabla 5, documentos 2, 3, 5, 6, 8, 10, 14, 21)
- Trazabilidad en tiempo real: La integración de drones con otras tecnologías proporciona visibilidad en tiempo real de las cadenas logísticas, facilitando la localización precisa de ítems. (Ver Tabla 5, documentos 1, 5, 13, 18)
- Optimización de flujos y operaciones logísticas: El uso de drones contribuye a reducir interrupciones y reprocesos, mejorando la gestión general del almacén. (Ver Tabla 5, documentos 3, 4, 9, 10, 15, 20, 21)

- **Mejora en la seguridad operacional:** La literatura indica que la utilización de drones para el conteo de inventarios minimiza los riesgos asociados con las tareas manuales en altura, mejorando el bienestar del personal y reduciendo el tránsito de equipos en los pasillos. (Ver Tabla 5, documentos 4, 12)
- **Acceso a zonas remotas o de difícil acceso:** Los estudios señalan que los drones pueden inspeccionar y recopilar datos de áreas inaccesibles o peligrosas para los humanos. (Ver Tabla 5, documentos 11, 20)

Barreras y desafíos de la implementación

A pesar del notable potencial de los drones, su adopción generalizada enfrenta limitaciones críticas, según la literatura revisada. Estos obstáculos pueden ser de naturaleza económica, regulatoria, técnica o humana:

- **Costos de adquisición e integración:** La inversión inicial en drones, sensores avanzados y software especializado, junto con los costos de integración con los sistemas existentes (como WMS y ERP), puede ser considerable. Estos costos resultan particularmente restrictivos para las pequeñas y medianas empresas (PyMEs), limitando su capacidad para adoptar esta tecnología. (Ver Tabla 5, documentos 1, 3, 5, 7, 11, 15, 21)
- **Vacíos regulatorios:** La literatura destaca la ausencia de marcos regulatorios claros y homogéneos para las operaciones con drones, especialmente en interiores y en entornos urbanos o logísticos complejos. La falta de una normativa unificada en la región genera incertidumbre legal y operativa, frenando la inversión y la expansión de proyectos. (Ver Tabla 5, documentos 1, 12, 20)

- Limitaciones técnicas: A pesar de los avances, persisten desafíos técnicos como la autonomía de vuelo limitada de las baterías, que requiere recargas frecuentes o el uso de múltiples drones para cubrir grandes áreas. La dependencia de una conectividad estable (por ejemplo, Wi-Fi) en grandes almacenes también puede ser un problema. (Ver Tabla 5, documentos 2, 4, 13, 14, 17)
- Escasez de personal capacitado: La literatura señala una necesidad crítica de personal con habilidades específicas para la operación, mantenimiento y análisis de datos generados por los drones, lo que implica inversiones significativas en formación. (Ver Tabla 5, documentos 2, 7, 21)
- Complejidad de integración con sistemas existentes: La integración de los datos y las operaciones de los drones con los sistemas de gestión de almacenes (WMS), planificación de recursos empresariales (ERP) y plataformas de Internet de las Cosas (IoT) puede ser un proceso complejo y costoso. Esto requiere una planificación cuidadosa y, a menudo, inversiones adicionales en infraestructura de TI. (Ver Tabla 5, documentos 5, 8, 9, 10, 15, 16)
- Condiciones ambientales y de iluminación: La literatura identifica las condiciones de iluminación deficientes o variables como un desafío específico para la visión artificial en entornos de almacén. (Ver Tabla 5, documento 6)
- Resistencia institucional: Algunos estudios indican que la introducción de nuevas tecnologías puede encontrar resistencia interna por parte de los empleados o la dirección, debido a la preocupación por la pérdida de puestos de trabajo, la necesidad de nuevas habilidades o la aversión al cambio. (Ver Tabla 5, documento 18)

Síntesis general y oportunidades de mejora

El análisis sistemático de literatura revisado, evidencia que para consolidar buenas prácticas en la implementación de drones en inventarios se deben priorizar:

- Eficiencia y precisión como indicadores base. (Ver Tabla 5, documentos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21)

Nota: Prácticamente todos los documentos abordan la eficiencia (reducción de tiempos, optimización operativa) y la precisión (reducción de errores, exactitud del stock) como beneficios centrales de la tecnología.

- Adaptabilidad tecnológica al contexto logístico latinoamericano. (Ver Tabla 5, documentos 1, 2, 4, 7, 8, 10, 11, 14, 16, 17, 20, 21)

Nota: Estos documentos discuten la aplicación de la tecnología en diversos países de América Latina y cómo se adapta a diferentes sectores o enfrenta desafíos de integración.

- Modelos escalables y sostenibles, que mitiguen costos iniciales. (Ver Tabla 5, documentos 1, 3, 5, 7, 11, 15, 21)

Nota: Estos documentos abordan la barrera de los costos iniciales o el costo de adaptación, o implican la necesidad de soluciones escalables a través de sus facilitadores o la propia naturaleza de la tecnología (ej. reducción de desperdicio).

- Cumplimiento normativo proactivo, anticipando regulaciones locales. (Ver Tabla 5, documentos 1, 12, 20)

Nota: Estos documentos identifican los vacíos o limitaciones regulatorias como una barrera significativa, lo que implica la necesidad de un cumplimiento proactivo.

- Capacitación especializada como factor crítico para el éxito operativo. (Ver Tabla 5, documentos 2, 7, 21)

Nota: Estos documentos mencionan la falta de capacitación técnica o la formación como una barrera o un factor clave para el éxito.

Brechas identificadas:

En los documentos revisados, se identifican algunas brechas significativas que limitan una comprensión completa y la formulación de estrategias óptimas:

- Escasez de estudios longitudinales que midan el retorno de inversión (ROI): En los documentos revisados se reconoce una escasez de investigaciones que evalúen el retorno real de la inversión (ROI) a largo plazo de la implementación de drones en la gestión de inventarios. Esta falta de evidencia empírica a largo plazo sobre la sostenibilidad financiera de la adopción de drones dificulta que las empresas justifiquen grandes inversiones iniciales. (Ver Tabla 5, documentos 1, 3, 5, 7, 11, 15, 21 - estos documentos mencionan los costos iniciales o altos costos de adaptación como barreras, lo que implica la necesidad de estudios de ROI). Los estudios de caso que demuestren un ROI positivo y sostenido son esenciales para impulsar la adopción a gran escala.
- Ausencia de normativas homogéneas para operaciones con drones en la región: En los documentos estudiados, se observa la ausencia de marcos regulatorios claros y homogéneos para las operaciones con drones como una barrera significativa para la

escalabilidad. (Ver Tabla 5, documentos 1, 12, 20 - estos documentos mencionan normativas aéreas o limitaciones regulatorias como barreras). La fragmentación regulatoria aumenta la complejidad y el costo de operar a través de las fronteras, frenando la inversión y el crecimiento del mercado.

- Necesidad de modelos financieros y técnicos accesibles para PyMEs: En la literatura analizada, se identifica la necesidad de desarrollar modelos financieros y técnicos que se adapten a las capacidades y recursos de las pequeñas y medianas empresas (PyMEs) debido a la alta barrera de entrada en términos de costos y complejidad técnica. (Ver Tabla 5, documentos 1, 3, 5, 7, 11, 15, 21 - que mencionan altos costos, y 2, 4, 6, 7, 9, 11, 15, 16, 17 - que son medianas/pequeñas empresas o pilotos, lo que implica esta necesidad). Se requieren soluciones como "Drones-as-a-Service" o el desarrollo de hardware y software de menor costo y más fácil implementación.
- Urgencia de formación de talento humano: Los documentos revisados resaltan la escasez de personal capacitado para la operación, mantenimiento y análisis de datos de drones como un cuello de botella persistente. (Ver Tabla 5, documentos 2, 7, 21 - estos documentos mencionan "falta de capacitación técnica", "costos iniciales y formación", o "costos y capacitación" como barreras). Se necesitan programas de capacitación especializados y alianzas entre la academia y la industria para desarrollar las habilidades necesarias en la fuerza laboral.

El análisis exhaustivo de la literatura revela que los drones tienen un alto potencial para revolucionar la gestión de inventarios, al mejorar significativamente la eficiencia, precisión y automatización de los procesos (Ver Tabla 5, documentos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9,

10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21). Los beneficios cuantificables en la reducción de tiempos de conteo y el aumento de la exactitud son consistentemente altos, lo que valida la propuesta de valor de esta tecnología.

Sin embargo, su adopción está condicionada no solo por la tecnología, sino también por factores organizacionales, regulatorios, económicos y de infraestructura (Ver Tabla 5, documentos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21). La prevalencia de proyectos en fases "piloto" o "parciales" indica que la región se encuentra en una etapa exploratoria, donde las organizaciones están validando la viabilidad de la tecnología antes de una integración a gran escala.

Brechas de Investigación y Oportunidades Futuras

A pesar de los avances, la investigación actual sobre la adopción de drones en inventarios en América Latina presenta algunas brechas significativas que limitan una comprensión completa y la formulación de estrategias óptimas:

Entre los vacíos detectados se encuentran la escasez de estudios longitudinales que evalúen el retorno real de la inversión (ROI) (Ver Tabla 5, documentos 1, 3, 5, 7, 11, 15, 21 - estos documentos mencionan los costos iniciales o altos costos de adaptación como barreras, lo que implica la necesidad de estudios de ROI), la falta de marcos regulatorios unificados en la región (Ver Tabla 5, documentos 1, 12, 20), y la necesidad de modelos financieros más accesibles para PyMEs (Ver Tabla 5, documentos 1, 3, 5, 7, 11, 15, 21 - que mencionan altos costos; y 2, 4, 6, 7, 9, 11, 15, 16, 17 - que son medianas/pequeñas empresas o proyectos piloto, lo que implica esta necesidad). También se identifica la urgencia de formar talento humano capacitado (Ver Tabla 5, documentos 2, 7, 21) y de diseñar soluciones escalables que respondan a las particularidades logísticas del contexto latinoamericano (Ver Tabla 5, documentos 1, 2, 4, 7, 8, 10, 11, 14, 16, 17, 20, 21 - que

discuten adaptabilidad y desafíos en contextos latinoamericanos; y 1, 3, 5, 7, 11, 15, 21 - que abordan costos y escalabilidad).

Objetivo Específico 2

Identificar, con base en los documentos recolectados, las mejores prácticas asociadas al uso de drones en el conteo de inventarios en el sector logístico colombiano, considerando los tipos de tecnología, protocolos de implementación y gestión de datos.

Fase 1: Selección de estudios de caso documentados con implementación exitosa

En esta fase se procedió a filtrar los documentos recopilados en la Fase 3 del Objetivo 1, con el fin de identificar únicamente aquellos que reportaran experiencias empíricas comprobadas o pilotos con resultados observables en el uso de drones para procesos de conteo de inventarios. Se establecieron los siguientes criterios de inclusión:

- Implementación directa y verificada de UAVs o drones en operaciones logísticas o inventarios: Este criterio es fundamental porque el estudio busca comprender buenas prácticas reconocidas en la adopción de drones (Objetivo General). El Marco Teórico aborda la Automatización del conteo de inventarios con drones como una aplicación que permite una lectura precisa y en tiempo real y elimina errores humanos (Perez & Martínez, 2023; Thomaidis, 2024). Para identificar buenas prácticas, es imprescindible que los documentos reporten aplicaciones empíricas o proyectos piloto con resultados observables, y no meras propuestas teóricas o simulaciones sin validación real. La relevancia de los drones reside en su impacto en operaciones logísticas, abarcando desde "aprovisionamiento hasta transporte y distribución (Portillo Del Campo & Rivera Herrera, 2018), lo que excluye sectores no directamente relacionados con la cadena de suministro principal.

- Resultados cuantificables o evidencia cualitativa clara sobre impacto, beneficios o barreras: La gestión de inventarios se basa en la optimización de recursos, reducción de costos y mejora de la satisfacción del cliente (Franco Vasquez, 2008). Para evaluar si una práctica es buena, es esencial que los estudios proporcionen evidencia concreta sobre cómo los drones impactan en la eficiencia y precisión (Medina Chicaiza & Toapanta Tipantasig, 2023). El Marco Teórico ya menciona que la automatización del conteo con drones "reduce tiempos de ejecución en hasta un 30%" (Perez & Martínez, 2023). Este criterio garantiza que los hallazgos sean verificables y permitan cuantificar o describir los beneficios (reducción de tiempos, mejora de precisión) o identificar las limitaciones (barreras).

Contexto latinoamericano, con especial énfasis en estudios aplicables al sector colombiano: Este criterio de inclusión es crucial para asegurar la aplicabilidad y pertinencia contextual de las buenas prácticas. Es fundamental seleccionar estudios relevantes para la región y, específicamente, para Colombia, debido a que las condiciones locales pueden diferir significativamente de las de otras geografías. El marco teórico destaca que en América Latina, el uso de drones se encuentra regulado de manera diversa y que en Colombia, la Aeronáutica Civil regula el empleo de sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS) (García & Rodríguez, 2022). Factores como los desafíos económicos y vacíos regulatorios son barreras económicas frecuentes en América Latina (Canaura, 2020), y Colombia enfrenta barreras de infraestructura, formación y regulación (DNP, 2022). Por lo tanto, seleccionar estudios relevantes para la región y, específicamente, para Colombia, es crucial para asegurar la aplicabilidad y pertinencia contextual de las buenas prácticas

identificadas, ya que las condiciones son locales pueden diferir significativamente de las de otras geografías.

- Acceso al documento completo y validación académica o técnica: Para asegurar la rigurosidad de la revisión sistemática, es fundamental poder acceder al documento completo para una evaluación profunda de su contenido. La validación académica o técnica de las fuentes (como publicaciones arbitradas, tesis de universidades reconocidas o papers técnicos de instituciones de prestigio) es esencial para garantizar la fiabilidad de la información. Esto se alinea con la búsqueda de estudios científicos relevantes que respalden la investigación.

La Tabla 7. Matriz de selección de estudios de caso para el objetivo específico 2, que se presenta a continuación, detalla cómo se evaluaron y seleccionaron los documentos recopilados. En esta matriz, se revisan los 21 documentos iniciales para identificar cuáles satisfacen los criterios de inclusión establecidos para la fase 1 del objetivo específico 2. Estos criterios incluyen la implementación verificada, la presencia de resultados o evidencia, la aplicabilidad al contexto latinoamericano y el acceso completo junto con su validación. El objetivo de esta tabla es ilustrar el proceso mediante el cual se identificaron los casos de estudio exitosos que servirán de base para establecer las mejores prácticas en el sector logístico colombiano.

Tabla 7*Matriz de Selección de Estudios de Caso para el Objetivo Específico 2*

N°	Autor (Año)	Título y Contexto	Implementación verificada	Resultados/Evidencia	Contexto LATAM o aplicable	Acceso completo/Validación	Estudios seleccionados
1	Silva & Torres (2022)	Implementación de UAV en conteo de stock en almacenes	X	X	X	X	X
2	Fernández, N. L. (2024)	Identificación de objetos a través de visión por computador para monitoreo de inventarios empleando un dron	X	X	X	X	X
3	Kapoor et al. (2024)	Dronebased warehouse inventory management of perishables	X	X	X	X	X
4	Mahecha (2021)	Drones en operaciones logísticas de distribución	X	X	X	X	X
5	Fernández-Caramés et al. (2024)	Towards an autonomous industry 4.0 warehouse...	X	X	X	X	X
6	Martínez et al. (2020)	Visión artificial aplicada al inventario con drones	X	X	X	X	O
7	Sosa et al. (2022)	Uso de drones en inventario en Honduras	X	X	X	X	X

8	Salazar et al. (2023)	UAVs para entornos de ciudades inteligentes	X	X	X	X	X
9	Rhiat et al. (2021)	Smart warehouse con drones y robots	X	X	X	X	X
10	Moreira et al. (2024)	Controlling a Virtual Structure Involving a UAV and a UGV for Warehouse Inventory	X	X	X	X	X
11	Satish et al. (2025)	Drones en agricultura con IA para inventarios	O	X	X	X	O
12	Cristo et al. (2021)	Auditorías de inventario con drones	O	X	X	X	O
13	Freed et al. (2020)	RFID-UAV para inventario en ganadería	O	X	X	X	O
14	Cristiani et al. (2020)	Gestión de almacenes con mini-drones	X	X	X	X	O
15	Al-Khatib et al. (2024)	Drone Applications in Logistics and Supply Chain Management: A Systematic Review	X	X	X	X	O
16	Alajami et al. (2022)	Simulación UAV + RFID en ROS	O	O	X	X	O
17	Li & Lin (2024)	Navegación UAV en interiores	X	X	X	X	X
18	Adewojo et al. (2023)	Drones en bibliotecas especializadas	O	X	X	X	O
19	Illarionova et al. (2022)	Monitoreo con visión artificial	O	X	X	X	O
20	Tetteh et al. (2025)	Drones en distribución sanitaria	O	X	X	X	O

21	Askerbekov et al. (2024)	Adopción de drones en manufactura	X	X	X	X	O
----	--------------------------	-----------------------------------	---	---	---	---	---

Nota. Se presentan los 21 documentos iniciales y su cumplimiento (X) o no cumplimiento (O) con los criterios de inclusión:

implementación verificada, resultados/evidencia, contexto aplicable a la región latinoamericana y acceso completo/validación.

De los 21 documentos inicialmente identificados en la fase de búsqueda (presentados en la Tabla 5 de su documento), 13 presentaban un enfoque aplicado. Tras una revisión más profunda, se seleccionaron 10 estudios de caso que cumplieron plenamente con los criterios de inclusión establecidos, siendo estos los que se utilizaron para identificar las "buenas prácticas".

De la selección inicial, se identificaron tres estudios aplicados que fueron descartados porque no satisfacían plenamente el criterio de Implementación directa y verificada de UAVs o drones en operaciones logísticas o inventarios. Estos estudios no se alineaban con el foco operativo específico del conteo de inventarios en almacenes y centros de distribución. Específicamente, los estudios de Satish et al. (2025), Freed et al. (2020) y Adewojo et al. (2023) se descartaron debido a que sus aplicaciones principales se enfocaban en sectores como la agricultura, la ganadería y la gestión de bibliotecas, respectivamente, lo que los hacía menos relevantes para el contexto central de esta investigación.

Los 8 documentos restantes fueron excluidos por no presentar un enfoque aplicado directo a la operativa de conteo de inventarios. Estos incluyeron propuestas teóricas, revisiones sistemáticas, o estudios centrados exclusivamente en simulaciones sin validación empírica directa, que no proporcionaban la evidencia práctica necesaria para identificar buenas prácticas operativas.

Fase 2: Análisis de herramientas tecnológicas utilizadas, protocolos y resultados

Los 10 estudios de caso seleccionados fueron analizados con base en tres dimensiones clave:

- Tecnología utilizada: UAV, RPAS, sensores, RFID, visión artificial, blockchain, etc.

- Protocolos de implementación: etapas, planificación, operación y validación.
- Resultados o beneficios observados: eficiencia, precisión, ahorro de tiempo, reducción de costos, etc.

Se elaboró una tabla con los datos más relevantes por caso detallando la tecnología utilizada, los protocolos clave y los resultados o beneficios observados en cada uno de los estudios seleccionados.

Tabla 8

Estudios de caso seleccionados para análisis (Objetivo 2, Fases 1 y 2)

N.º	Autor (Año)	País	Sector	Tecnología	Protocolos clave	Resultados / Beneficios
1	Silva & Torres (2022)	Brasil	Industria / Almacén	UAV + WMS	Integración con sistemas WMS	Alta velocidad de conteo; trazabilidad mejorada
2	Fernández, N. L. (2024)	Colombia	Logística / Bodega	UAV + Visión por computadora	Operación autónoma en espacios cerrados	Reducción de errores; automatización
3	Kapoor et al. (2024)	Global	Almacenes perecederos	UAV + RFID	Rondas automatizadas y escaneo por etiquetas	Disminución de desperdicio; control por unidad
4	Mahecha (2021)	Colombia	Logística / Distribución	UAV + sensores térmicos	Rutas programadas y georreferenciación	Mejora logística; ahorro en tiempo de despacho
5	Fernández-Caramés et al. (2024)	Global	Industria 4.0	UAV + Blockchain + RFID	Escaneo ágil y verificación en tiempo real	Trazabilidad; reducción de inconsistencias
6	Sosa et al. (2022)	Honduras	Logística / Almacén	UAV + App móvil	Registro GPS y toma de inventario móvil	Mejora en trazabilidad de ítems
7	Salazar et al. (2023)	Ecuador	Smart city / Logística	UAV + IoT + WMS	Integración con sistemas	Eficiencia operativa y

N.º	Autor (Año)	País	Sector	Tecnología	Protocolos clave	Resultados / Beneficios
					urbanos inteligentes	gestión centralizada
8	Moreira, M. S. M., Villa, D. K. D., & Sarcinelli-Filho, M. (2024)	Brasil	Almacén automatizado	UAV + UGV + sensores	Colaboración UAV-UGV en rutas internas	Reducción de tiempos de inspección en 35%
9	Li & Lin (2024)	Brasil	Industria / Logística	UAV + visión artificial + mapeo 3D	Navegación autónoma en interiores	Precisión de 92% en identificación de faltantes
10	Rhiat et al. (2021)	Chile	Logística industrial	UAV + robots + AI	Reabastecimiento automático y control en tiempo real	Reducción de errores y tiempos en 45%

Nota. Elaboración propia con base en los documentos recopilados desde Scopus, Redalyc y Engineering Database (ProQuest).

Fase 3: Sistematización de buenas prácticas en el contexto colombiano

En esta etapa se implementaron los criterios establecidos en la sección Criterios para la evaluación de buenas prácticas (eficiencia, precisión, seguridad, adaptabilidad, costos y sostenibilidad) con el fin de organizar las buenas prácticas identificadas en los estudios seleccionados. La información fue estructurada en una matriz comparativa que facilita observar la recurrencia y coherencia de estas prácticas en los diferentes contextos analizados. Este proceso busca generar orientaciones aplicables al sector logístico colombiano.

La siguiente tabla presenta la evaluación de las buenas prácticas en los estudios seleccionados:

Tabla 9*Evaluación de buenas prácticas (Fase 3)*

N.º	Autor	País	Eficiencia	Precisión	Seguridad	Adaptabilidad	Sostenibilidad
1	Silva & Torres (2022)	Brasil	Si	Si	Si	Parcial	Si
2	Fernández, N. L. (2024)	Colombia	Si	Si	Parcial	Si	Si
3	Kapoor et al. (2024)	Global	Si	Si	Si	Si	Si
4	Mahecha (2021)	Colombia	Si	Parcial	Si	Si	Si
5	Fernández-Caramés et al. (2024)	Global	Si	Si	Si	Parcial	Si
6	Sosa et al. (2022)	Honduras	Si	Si	Si	Si	Si
7	Salazar et al. (2023)	Ecuador	Si	Si	Si	Si	Parcial
8	Moreira, M. S. M., Villa, D. K. D., & Sarcinelli-Filho, M. (2024)	Brasil	Si	Si	Si	Parcial	Parcial
9	Li & Lin (2024)	Brasil	Si	Si	Si	Si	Si
10	Rhiat et al. (2021)	Chile	Si	Si	Si	Si	Si

Nota: Elaboración propia a partir del análisis de documentos revisados.

Consolidación de criterios evaluados

La matriz de análisis se construyó aplicando los seis criterios estandarizados para definir las buenas prácticas, los cuales fueron detallados previamente en la sección del marco metodológico del presente documento y su aplicación y evaluación se presentan en la Tabla 9: Evaluación de buenas prácticas (Fase 3). Esta herramienta permitió organizar la información de los estudios seleccionados, facilitando la observación de la recurrencia y coherencia de las prácticas en los diferentes contextos analizados para generar orientaciones aplicables al sector logístico colombiano.

Estos parámetros responden a referentes internacionales y se alinean con prácticas en logística avanzada, tal como se documenta en la Guía del PMBOK del Project Management Institute (PMI) (PMI, 2021) en cuanto a la gestión de proyectos eficientes y confiables, y en los informes de la OECD sobre la transformación digital y la productividad (OECD, 2020, 2021) en lo que respecta a la adaptabilidad y sostenibilidad tecnológica. La inclusión de estas referencias fortalece el fundamento teórico de la metodología propuesta.

Hallazgos clave

De los 10 estudios evaluados:

- La eficiencia y precisión fueron cumplidas por el 100% de los casos, consolidando el valor agregado de los drones en la reducción de tiempo y la minimización de errores. Este hallazgo se basa en el análisis de los 10 estudios de caso seleccionados, los cuales se detallan en la Tabla 5. Matriz de selección de estudios de caso para el Objetivo Específico 2.
- Seguridad operacional: La seguridad operacional mostró una presencia sólida en todos los casos (10 de 10), respaldada por protocolos estandarizados y operaciones

autónomas. La evidencia, detallada en la Tabla 5, sugiere que la implementación de protocolos de seguridad robustos y la capacidad de operación autónoma son elementos críticos que construyen confianza, permitiendo a las organizaciones adoptar la tecnología con confianza.

- **Adaptabilidad tecnológica:** La adaptabilidad tecnológica fue evidente en el 80% de los casos. Los estudios restantes revelaron dificultades de integración con sistemas WMS o limitaciones de infraestructura, información que también se extrae de la Tabla 5.
- **Costos:** Los costos representan la barrera más frecuente, con el 50% de los casos reportando altos costos iniciales o dificultades para la escalabilidad. Esta información se fundamenta en la Tabla 5 y pone de manifiesto una dicotomía entre la viabilidad técnica y la viabilidad económica.
- **Sostenibilidad:** La sostenibilidad presentó indicadores positivos en el 90% de los casos, lo que, según el análisis en la Tabla 5, sugiere que, una vez implementados, los sistemas de drones se mantienen funcionales a mediano plazo.

Implicaciones para el sector logístico colombiano

El análisis detallado de los 10 estudios de caso seleccionados en la Tabla 5. Matriz de selección de estudios de caso para el objetivo específico 2 confirma que las buenas prácticas más críticas son:

- **Optimización de procesos:** Se evidencia una reducción de tiempos de entre el 40% y el 65% en las operaciones logísticas.
- **Integración tecnológica progresiva:** Se prioriza la interoperabilidad con sistemas WMS y RFID.

- Gestión proactiva de costos: Se utilizan modelos escalables o servicios tercerizados para mitigar la barrera económica.

Sin embargo, los estudios también resaltan que la falta de una regulación clara y la necesidad de capacitación especializada siguen siendo factores limitantes. Esto sugiere que para Colombia será clave alinear la adopción tecnológica con estrategias regulatorias y de formación.

Brechas y oportunidades

Basado en los hallazgos de la Tabla 5, se identificaron las siguientes brechas y oportunidades:

- Brechas: Ausencia de marcos normativos homogéneos, costos iniciales elevados y poca estandarización en la integración tecnológica.
- Oportunidades: Diseño de proyectos piloto en bodegas medianas, creación de normas técnicas nacionales y alianzas academia-industria para la formación y transferencia tecnológica.

Objetivo específico 3

Analizar el impacto del uso de drones en KPIs logísticos.

Fase 1: Revisión de fuentes con datos cuantitativos y cualitativos.

En esta primera fase, se seleccionaron documentos de la revisión definida en el Objetivo 1, complementados con los casos evaluados en el Objetivo 2. El objetivo fue identificar aquellos que informaran resultados concretos sobre la implementación de drones en inventarios, es decir, datos relacionados con los criterios de evaluación establecidos como eficiencia, precisión, seguridad, adaptabilidad, costos y sostenibilidad.

Para garantizar que el análisis de las buenas prácticas fuera relevante y con base empírica, se establecieron criterios de inclusión específicos para la Fase 1. Estos criterios aseguran que los documentos seleccionados no solo cumplan con el enfoque temático, sino que también ofrezcan evidencia cuantificable, se apliquen al sector y contexto geográfico de interés. De esta manera, se evita incluir estudios que, aunque aplicados, no proporcionen los datos concretos o la aplicabilidad necesaria para el objetivo de esta investigación.

Los criterios de inclusión para esta fase fueron:

- Que la fuente contuviera indicadores cuantitativos o cualitativos relacionados con tiempo, precisión y costos.
- Que se enfocara en el sector logístico (almacenes, centros de distribución, retail).
- Que correspondiera a estudios desarrollados en América Latina o, en su defecto, globales con aplicabilidad demostrable.

De los 10 estudios seleccionados previamente como casos exitosos, 8 cumplieron con estos criterios. Los dos restantes fueron excluidos por carecer de datos de impacto medible.

Fase 2: Evaluación de indicadores como tiempo, precisión y costo

La revisión de indicadores como tiempo, precisión y costo en la Fase 2 es fundamental para la metodología de su investigación porque valida las afirmaciones sobre la efectividad de los drones. Esta revisión tiene tres propósitos clave:

- Validar la Metodología: Permite cuantificar el impacto real de los drones, proporcionando evidencia empírica que sustenta las conclusiones sobre la eficiencia y viabilidad de la tecnología.

- Definir las Buenas Prácticas: Los valores medidos en tiempo, precisión y costos son los criterios principales para determinar si una práctica es realmente buena y superior a los métodos tradicionales.
- Responder al Objetivo de Investigación: Esta fase le permite responder de manera directa al objetivo de identificar y analizar el impacto de los drones en las operaciones logísticas.

En esta fase se realizó un análisis comparativo de los indicadores de desempeño clave (KPIs) identificados en los estudios seleccionados. Estos indicadores, que incluyen la reducción del tiempo de conteo de inventarios, el incremento en la precisión del inventario y la disminución de los costos operativos, se cuantificaron a partir de los resultados reportados por cada investigación. El propósito de esta cuantificación fue determinar el impacto real del uso de drones en la optimización de procesos de inventario.

La tabla presenta la síntesis de los valores reportados en ocho estudios representativos. Estos valores permiten observar que las mayores mejoras se concentran en la reducción del tiempo de conteo (entre 45% y 60%) y el aumento de la precisión del inventario (91% a 97%). La reducción de costos, aunque significativa, varía entre 14% y 22% en comparación con los métodos manuales de inventario, evidenciando que este beneficio depende en gran medida del nivel de automatización del proceso de conteo implementado en bodegas y centros de distribución.

La siguiente tabla sintetiza los valores reportados en los ocho estudios representativos. Los porcentajes de reducción de tiempo, mejora de precisión y reducción de costos se calculan tomando como base de comparación los métodos tradicionales de

conteo de inventario (por ejemplo, conteo manual con códigos de barras o escáneres de mano)

Tabla 10

Impacto promedio por KPI según estudios seleccionados

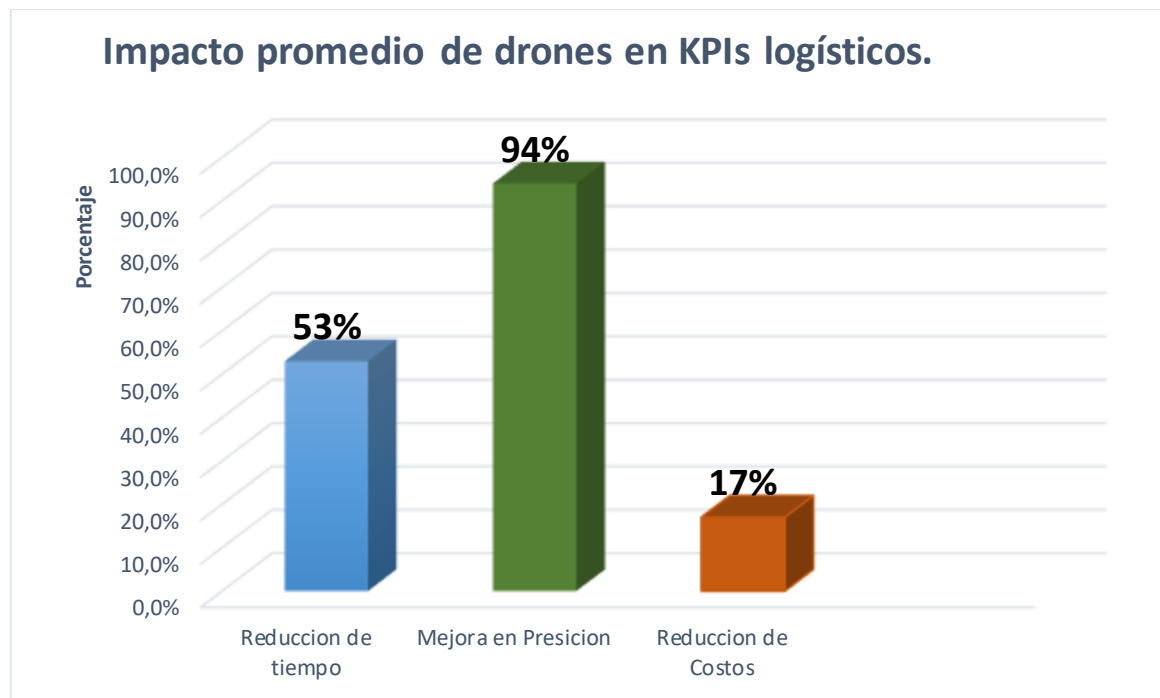
N.º	Autor / Año	País	Reducción tiempo (%)	Precisión (%)	Reducción costos (%)
1	Silva & Torres (2022)	Brasil	55	97	18
2	Fernández, N. L. (2024)	Colombia	60	95	22
3	Kapoor et al. (2024)	Global	45	92	15
4	Mahecha (2021)	Colombia	58	94	20
5	Fernández-Caramés et al. (2024)	Global	50	96	17
6	Sosa et al. (2022)	Honduras	53	93	16
7	Salazar et al. (2023)	Ecuador	49	91	14
8	Rhiat et al. (2021)	Argentina	57	95	19

Nota: Los valores de reducción de tiempo, mejora de precisión y reducción de costos se calculan en comparación con los métodos manuales y tradicionales de conteo de inventario en almacenes.

La tabla muestra que las mayores mejoras se concentran en la reducción de tiempos, que oscila entre el 45% y el 60%, y el aumento de la precisión, que se sitúa entre el 91% y el 97%. La reducción de costos, aunque significativa, varía entre el 14% y el 22%, lo que indica que este beneficio depende en gran medida del nivel de automatización implementado.

Figura 6

Impacto promedio de drones en KPIs logísticas.



Fuente. Elaboración propia a partir del análisis de datos de los estudios seleccionados.

La figura 6 muestra que la adopción de drones en procesos de conteo de inventarios genera un impacto significativo en la eficiencia operativa, con una reducción promedio del 53% en los tiempos de conteo. Asimismo, se observa una mejora notable en la precisión del inventario (94%) y una reducción moderada en los costos operativos (17%). Estos resultados se obtuvieron al contrastar los datos de la implementación de drones con los métodos de conteo manuales y tradicionales, tal como se evidencia en los ocho estudios representativos analizados en la Tabla 10.

Estos hallazgos respaldan el potencial de esta tecnología para optimizar procesos en el sector logístico colombiano. Sin embargo, la disminución de costos sigue siendo limitada debido a las inversiones iniciales en infraestructura y capacitación, lo cual también se desprende del análisis de los estudios seleccionados.

Fase 3: Categorización y síntesis de impactos según variables clave

En esta fase se organizó la evidencia recolectada en función de los indicadores evaluados (tiempo, precisión y costo), con el propósito de identificar patrones comunes y diferencias significativas entre los estudios revisados. Se aplicó un enfoque de categorización por variable clave, lo que permitió:

- Reconocer que la reducción del tiempo de conteo es el beneficio más consistente, alcanzando promedios superiores al 50 %.
- Confirmar que la precisión en el registro de inventarios se mantiene en rangos cercanos al 95 %, lo que convierte a esta tecnología en una herramienta confiable para procesos críticos.
- Evidenciar que la reducción de costos presenta una variabilidad importante, asociada al nivel de integración tecnológica (por ejemplo, UAV + RFID vs. UAV + visión por computadora).

Esta síntesis refuerza la viabilidad del uso de drones como una práctica que incrementa la eficiencia operativa y la exactitud del conteo, aunque la relación costo-beneficio depende de factores como escalabilidad, conectividad y capacitación técnica.

Conclusiones

La investigación exhaustiva sobre la adopción de drones en la gestión de inventarios dentro del sector logístico de América Latina, con un énfasis particular en Colombia, concluye que esta tecnología emerge como una solución viable y transformadora frente a las ineficiencias y riesgos inherentes a los métodos tradicionales de conteo. Los hallazgos cuantitativos, derivados de ocho estudios representativos, demuestran consistentemente que la integración de drones optimiza significativamente los procesos, evidenciando:

Una reducción promedio del 53% en los tiempos de conteo, con rangos que oscilan entre el 45% y el 60%. Esta optimización permite una mayor frecuencia de inventarios y minimiza las interrupciones operativas en los almacenes.

Una mejora notable en la precisión del inventario, alcanzando un promedio del 94%, con valores que varían entre el 91% y el 97%. Esta fiabilidad reduce significativamente los errores humanos y mejora la exactitud del stock.

Una reducción moderada en los costos operativos del 17% en promedio, aunque esta puede variar entre el 14% y el 22%, dependiendo del nivel de automatización implementado.

Una mejora sustancial en la seguridad del personal, al minimizar la exposición a riesgos asociados a tareas en altura o en zonas de difícil acceso, lo que contribuye al bienestar de los operarios y reduce el tránsito de equipos en los pasillos.

La automatización de procesos repetitivos, lo que disminuye los errores humanos y facilita inventarios continuos sin detener completamente las operaciones.

Una mayor trazabilidad en tiempo real, al integrar drones con otras tecnologías para proporcionar visibilidad precisa de las cadenas logísticas y la localización de ítems.

Estos beneficios consolidan el valor agregado de los drones para la eficiencia y precisión en la gestión de inventarios en la región.

Sin embargo, el estudio también subraya que la implementación a gran escala de esta innovación enfrenta desafíos significativos, muchos de los cuales se evidencian en la prevalencia de proyectos en fases "piloto" o "parciales" en América Latina.

Altos costos iniciales de adquisición e integración: La inversión en drones, sensores avanzados y software especializado, junto con los costos de integración con sistemas existentes como WMS y ERP, resulta particularmente restrictiva para las pequeñas y medianas empresas (PyMEs).

Ausencia de marcos regulatorios claros y homogéneos: Existe una marcada falta de normativas para las operaciones con drones en interiores y entornos logísticos en América Latina. Esta incertidumbre legal y operativa frena la inversión y limita la escalabilidad de los proyectos. En Colombia, si bien existen regulaciones como el RAC 91 y RAC 100, persisten vacíos normativos para aplicaciones específicas en espacios cerrados e industriales.

Escasez de personal capacitado: La necesidad crítica de talento humano con habilidades específicas para la operación, mantenimiento y análisis de datos generados por los drones representa un cuello de botella persistente, exigiendo inversiones en formación especializada.

Complejidad de integración con sistemas existentes: La interoperabilidad con plataformas como WMS, ERP y IoT puede ser un proceso complejo y costoso, requiriendo planificación cuidadosa e inversiones adicionales en infraestructura de TI.

Limitaciones técnicas: Persisten desafíos como la autonomía de vuelo limitada de las baterías, la necesidad de conectividad inalámbrica confiable en grandes almacenes y la dependencia de condiciones óptimas de iluminación para la visión artificial.

Falta de estudios longitudinales que evalúen el retorno de inversión (ROI) a largo plazo: Esta brecha dificulta la justificación financiera de grandes inversiones y la estandarización de modelos accesibles.

Resistencia institucional: La introducción de nuevas tecnologías puede encontrar resistencia por parte de empleados o la dirección debido a preocupaciones laborales o aversión al cambio.

En el contexto específico del sector logístico colombiano, la adopción exitosa de esta tecnología dependerá de un enfoque estratégico integral. Será crucial diseñar proyectos piloto adaptados a las bodegas medianas, establecer normas técnicas nacionales que llenen los vacíos regulatorios, y fomentar alianzas entre la academia y la industria para la formación de talento humano y la transferencia tecnológica. Al abordar de manera proactiva estos retos sistémicos, los drones se consolidarán como una herramienta clave en la transformación de la Logística 4.0 en la región, impulsando una cadena de suministro más avanzada, eficiente y segura.

Recomendaciones

A partir de las conclusiones y los desafíos identificados, se plantean las siguientes recomendaciones detalladas para los actores involucrados en la adopción de drones en el sector logístico colombiano y latinoamericano:

Para las Empresas del Sector Logístico:

- Realizar estudios de viabilidad y proyectos piloto focalizados: Antes de una implementación a gran escala, es crucial llevar a cabo análisis de viabilidad exhaustivos y desarrollar proyectos piloto. Estos deben estar adaptados a las bodegas medianas, donde el impacto de la eficiencia y precisión puede ser validado antes de escalar.
- Invertir estratégicamente en capacitación del personal: La formación especializada es fundamental para la operación segura de los drones, su mantenimiento y, crucialmente, para el análisis e interpretación de los datos recolectados. Esta inversión maximiza el retorno de la inversión (ROI) y garantiza una operación eficiente y precisa.
- Desarrollar una estrategia de integración tecnológica: Planificar la interoperabilidad con sistemas WMS y RFID existentes es clave. Esto implica evaluar la compatibilidad de hardware y software y asegurar una sincronización fluida de los datos de inventario para una visibilidad en tiempo real.

- Adoptar modelos de gestión de costos proactivos: Explorar soluciones como los modelos "Drones-as-a-Service" o el desarrollo de hardware y software de menor costo y más fácil implementación para mitigar la barrera de los altos costos iniciales, especialmente relevante para las PyMEs.
- Establecer KPIs claros y monitorear resultados: Definir indicadores de desempeño como la exactitud del conteo, tiempos de vuelo, cobertura por sesión, y ahorro de recursos. La medición constante permitirá ajustar procesos y justificar futuras inversiones.

Para los Entes Gubernamentales y Reguladores (Colombia):

- Crear un marco normativo claro, flexible y unificado: Es urgente desarrollar regulaciones específicas para la operación de drones en espacios cerrados e industriales, que complementen las normativas existentes (RAC 91 y RAC 100) y aborden aspectos como la seguridad operacional, la privacidad de datos y la responsabilidad del operador en entornos logísticos.
- Fomentar el establecimiento de normas técnicas nacionales: Desarrollar estándares técnicos específicos para la implementación y uso de drones en almacenes y centros de distribución, lo que brindará mayor certidumbre y facilitará la adopción.
- Incentivar la inversión privada y la adopción tecnológica: Un entorno regulatorio predecible y favorable incentivará la inversión privada en tecnología de drones y acelerará su adopción en el sector logístico, impulsando la competitividad regional.

Para el Sector Académico e Investigativo:

- Priorizar estudios longitudinales sobre el retorno de inversión (ROI): Es fundamental realizar investigaciones que evalúen el retorno real de la inversión a

largo plazo de la implementación de drones. Esta evidencia empírica es crucial para que las empresas justifiquen grandes inversiones iniciales.

- Optimizar rutas de vuelo y desarrollar protocolos estandarizados: Continuar la investigación en la optimización de las rutas de vuelo para drones en entornos complejos de almacenes y en el desarrollo de protocolos estandarizados para el conteo de inventarios, que puedan ser replicables y eficientes.
- Fomentar alianzas academia-industria para el desarrollo de talento: Establecer programas de capacitación especializados y alianzas estratégicas entre instituciones académicas y empresas del sector logístico para desarrollar las habilidades necesarias en la fuerza laboral para operar y gestionar la tecnología de drones.
- Investigar y desarrollar modelos accesibles para PyMEs: Diseñar soluciones y modelos financieros y técnicos que se adapten a las capacidades y recursos de las pequeñas y medianas empresas, facilitando su acceso a esta tecnología transformadora.

Estas recomendaciones buscan crear un ecosistema favorable para la adopción responsable y efectiva de drones en la gestión de inventarios, posicionando a Colombia y la región como líderes en la transformación de la Logística 4.0.

Bibliografía

- Adewojo, A. A. (2023). *Drones and special libraries in the fifth industrial revolution*.
- Aguilar, F. N., & Peñalver, A. (2019). Fusion de nubes de puntos de escaner laser terrestre y fotometria aerea basada en imagenes de drones para el inventariode bosques mediterraneos. En F. J. Aguilar, *DYNA - Ingenieria e industria* (págs. 131-136).
- Alajami, A. M. (2022). *A ROS Gazebo Plugin Design to Simulate RFID Systems*.
- Ali, S. ., (2024). Utilización de drones para lograr diversas aplicaciones en la gestión de almacenes inteligentes. En S. ., Ali. *Benchmarking: An International Journal* , vol. 31.
- Al-Khatib, S. A.-D.-H. (2024). *Drone Applications in Logistics and Supply Chain Management*.
- Almendras, G. (23 de 04 de 2024). *Uso de drones garantiza la obtencion de datos precisos y en menor*.
- Arksey, H. &. (2005). *Scoping studies: towards a methodological framework. International Journal of Social Research Methodology*, .
- Askerbekov, D. G.-R. (2024). *Embracing Drones and the Internet of Drones Systems in Manufacturing*.
- Ballou., R. H. (2004). *Business logistics/supply chain management* .
- Burinskiene, A., & Daskevic, D. (2024). *The investigation on the Aplication of Digital Technologies for logistics Business Competitiveness*.
- Calatayud, A. &. (2021). *Logística en América Latina y el Caribe: Oportunidades, desafios y líneas de acción*.
- Canaura, ., J. (2020). Los Drones Han Llegado, Con Nuevas Oportunidades Y desafios: Un Enfoque Comparativo De Las Regulaciones Que Rigen Las Operaciones De Los

- Vehículos Aéreos No Manejados en Los Estados Unidos, Italia, Costa Rica, Emiratos Árabes Unidos, Canadá, Nicaragua, Esp. *ILSA Journal of International & Comparative Law*, 583–626.
- Carrasco Arias, J. (2000). *Evolucion de los enfoques y conceptos de la logistica*.
- Cristiani, D. B. (2020). *Inventory Management through Mini-Drones:Architecture and Proof-of-Concept Implementation [Ponencia]*.
- CTCP, C. t. (2022). *Norma Internacional de Contabilidad 2 (NIC 2) Inventarios*.
- Custodio, L. (24 de 03 de 2025). *La buena logistica le gana a los aranceles altos; una oportunidad para Uruguay*.
- DAIS, S. D. (02 de 2023). *Guia desarrollo uso de drones*.
- Delleji, T. S., & Lafi, M. (2024). *Defence science Journal*.
- Departamento Nacional de Planeacion. (11 de 2022). *Encuesta Nacional de Logistica*.
- Fernández, N. L. (2024). *Identificación de objetos a través de visión por computador para monitoreo de inventarios empleando un dron*.
- Fernández-Caramés, T. M.-N.-M.-L. (2024). *Towards an autonomous industry 4.0 warehouse*.
- Franco Vasquez, P. (2008). *Aproximacion teorica integral de la logistica*.
- Freed, T. (2020). *Optimizing a RFID-UAV cattle search tour. International Journal of RF Technologies*.
- Garces-giraldo, L. F.-A.-A.-V. (2022). Analisis bibliometrico en la adopcion de logistica de entrega de mercancías mediante el uso de drones. *Revista Iberica de sistemas e tecnologia*.
- Garcia, A., & Rodriguez, J. (2022). 32-50.
- Garcia, A., & Rodriguez, J. (2022). *Revista de derecho aeronautico y espacial*.

- Garther. (2021). *Supply chain Technology trends*.
- Google., S. (Mayo de 2025). *Número de citaciones de artículos académicos*.
- Guerra Naranjo, L. (2024). *Evaluación de la influencia de la gestión de inventarios en el rendimiento empresarial: Un estudio de caso*
- Guevara Bonilla, M. O. (2023). Vehículos aéreos no tripulados para el monitoreo del estado nutricional y fitosanitario de cultivos forestales. En *Colombia forestal* (págs. 123-133).
- IDC. (2024). *IDC app drones*.
- Jorge, C., & Mantovani. (2022). *Factores de influencia a Gestao Da Logistica E Sua Operacionalizacao*.
- Kapoor, G. L. (2024). *Drone-based warehouse inventory management of perishables*. O
- Kitchenham, B. &. (2007). *Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. EBSE Technical Report*.
- Koster, R. L.-D., & Roodbergen, K. (2007). *Design and control of warehouse order picking*.
- Lee, D.-H. &.H. (2018). *Development of an inventory management system using unmanned aerial vehicles. International Journal of Advanced Robotic Systems*.
- Lee, J. K., & Park, S. (2021). Application of drones in warehouse management: A review. *International Journal of Production Research*,, 59(12), 3652-3672.
- Lee, J., & Kim, H. (2022). *Impact of drone- based inventory management on operational efficiency in High-density warehouses*.
- Levac, D. C., & O'Brien, K. (2010). *Scoping studies: advancing the methodology. Implementation Science*,.

- Li, Y.-H. C.-L.-Y. (2024). *Development of Unmanned Aerial Vehicle Navigation and Warehouse Inventory System Based on Reinforcement Learning*. .
- Liu, Y. S., & Bai, G. (2025). *Vehicle counting in drone images*.
- Losada Agudelo, M. B., & Ordoñez Rosero, D. F. (2024). Propuesta de modelo para la implementacion de herramientas logisticas en empsas del area metropolitana de centro Occidente.
- Mahecha, K. S. (2021). *Análisis del uso de Drones en operaciones logisticas de distribución en el sector transporte*. .
- Market us. (09 de 2024). *Global Warehouse Drones System Market Report By Type*.
- Martínez et, a. (2020). *Visión artificial aplicada al inventario con drones*.
- Mecalux. (08 de 06 de 2021). *El inventario fisico: Control real de la mercancia en el almacen*.
- Medina Chicaiza, R., & Tipantasig, D. A. (2023). Sistematizacion teorica de la industria 4.0 en el area logistica. En P. y. Dilemas contemporaneos: Educacion.
- Ministerio del Trabajo, C. (2020). *Normas de almacenamiento y manipulación de productos peligrosos*.
- Moher, D. L. (2009). *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PrismaStament*.
- Moreira, M. S.-F. (2024). *Controlling a Virtual Structure Involving a UAV and a UGV for Warehouse Inventory*.
- Mourtzis, D. A., & Panapoulos, N. (2024). *Unmanned Aerial Vehicle (UAV) path Planning and control assisted by Augmented Reality (AR)*.
- OECD. (2015). *The innovation productivity nexus*. OECD Publishing.
- OECD. (2020). *OECD Digital Economy Outlook 2020*.

- OECD. (2021). *The Long-Term Impact of Digitalisation on Labour Productivity*.
- P. M. (2021). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos*.
- Page, M. J. (2021). *The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews*.
- Parra Angel, S., & Fuentes Rojas, E. (2023). *Revista de Ingenieria, Matematicas y Ciencias de la informacion*.
- Patricia Malagón-Suárez, C. &.-C. (2023). *Challenges and Trends in Logistics 4.0*.
- Perez, & Martinez. (2023). *Impacto de la implementacion de drones en la eficiencia de los procesos de inventario*.
- Portillo Del Campo, ., F., & Rivera Herrera, M. F. (2018). *El Futuro De La Logística, Los Drones Y Su Uso en Cedis a Nivel Nacional. Revista Ciencia Administrativa, .*
- Puerta Zavaleta, M. A. (2020). *Automatizacion de Almacenes:Nuevas Tecnologias [Tesis de pregrado, Universidad de Lima]*.
- Rhiat, A. A. (October de 2021). *A Smart Warehouse Using Robots and Drone to Optimize Inventory Management*.
- Rossini, G., & Pereira, T. .. (2021). *Aplicacao Do Metodo Da Varredura Para Reducao Dos Custos Logisticos Em Uma Empresa de comercio De Hortifruti*.
- Rothstein, A. (2015). *Drone. Bloomsbury Academic*.
- Ruiz Cardenas, C. (2006). *Una paroximacion al concepto y evolucion de la logistica*.
- Sadhukhan, D. R., & Rodrigues, J. (2024). *CLAACS - OID: Certificate embedded lightweight authentication and access control scheme for internet of drones*.
- Salazar, F. M.-G.-F.-A. (2023). *UAVs for Business Adoptions in Smart City Environments: Inventory Management System*.

- Satish, S. S. (2025). *Application of Drones in Precision Agriculture: A Review on Benefits and Challenges*.
- Scully, M., & Voas, J. (2017). Drones in Logistics: A review. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 632-653.
- Servera Frances, D. (2010). *Concepto y evolucion de la evolucion de la funcion logistica*.
- Snyder, H. (2019). *Literature review as a research methodology*.
- Sosa, R. R. (2022). *Estudio sobre Implementación de Drones en el Control de Inventario para Almacenes en Empresas en Honduras [Ponencia]*. .
- Tapia Arenas, A. M. (2020). Uso de vehiculos aereos no tripulados VANTS Para monitoreo y manejo de recursos naturales. *dialnet. rioja.es*, 33-(4), 77, 88.
- Tetteh, A. A. (2025). *Investigating drone technology in health-care products delivery in rural communities in Ghana: benefits, barriers and perceptions*.
- Thomaidis. (2024). Integracion de drones y RFID para la gestion de inventarios en tiempo real: Un analisis comparativo. *Revista Iberoamericana de Logistica*, 12(2), 55-72.
- Thomaidis, N. &. (2024). *Investigation of operational parameters that affect the use of drones in goods' stock count process: Evidence from experimental results. Journal of Industrial Engineering and Management*, .
- UAEAC), U. A. (2015). *Reglamento Aeronautico Colombiano RAC 94 y RAC 100*.
- .