

Gestión de inventarios en la cadena de suministro hospitalaria. Una revisión sistemática
de la literatura

Jorge Armando Mendez León

Sebastián Valderrama Bonilla

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Industrial

Director

Javier Eduardo Arias Osorio

Magíster en Administración

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicomecánicas

Escuela de Estudios Industriales y Empresariales

Bucaramanga

2026

Dedicatoria

A Dios, por ser mi guía constante, darme fortaleza en los momentos difíciles y permitirme alcanzar este logro tan importante en mi vida; a mi mamá, por su amor incondicional, su apoyo permanente y por ser ese pilar fundamental que siempre ha estado presente en cada etapa de mi vida; a mi papá, por sus valiosos consejos, su apoyo constante y por inculcarme la disciplina y la determinación necesarias para alcanzar mis metas; y a mis hermanos, por su compañía, motivación y por estar siempre presentes en este camino, brindándome ánimo para no rendirme. Este logro también es de ustedes, porque sin su apoyo nada de esto habría sido posible.

Jorge Armando Mendez León

A Dios, por ser mi guía, por iluminar cada paso de mi camino y por bendecirme a lo largo de este proceso.

A mis padres, quienes han sido mi mayor apoyo y mi motor constante. A mi madre, por acompañarme desde el inicio en este sueño y por estar presente en cada momento de este logro tan importante. A mi padre, por inculcarme día a día la disciplina, la constancia y el esfuerzo necesarios para alcanzar mis metas.

A mi hermana, por su apoyo incondicional en cada situación.

Sin ustedes, nada de esto habría sido posible. Este logro también les pertenece.

Sebastián Valderrama Bonilla

Agradecimientos

Expreso mis más sinceros agradecimientos a la Universidad Industrial de Santander, por brindarme una formación integral y de calidad que ha sido fundamental en mi desarrollo académico y profesional; a mis docentes, por sus valiosas enseñanzas, conocimientos y aprendizajes impartidos a lo largo de mi formación; y a mi director de proyecto, por su orientación, acompañamiento y apoyo constante, siendo una guía clave en el desarrollo de este trabajo.

De igual manera, agradezco a mi familia por su amor y respaldo incondicional, a mis compañeros y amigos por compartir este camino de aprendizaje y crecimiento, a mi compañero de grado por su compromiso, dedicación y esfuerzo conjunto, y finalmente al grupo OPALO por su ayuda, orientación y aportes significativos en la realización de este proyecto.

Jorge Armando Mendez León

Mi más sincero agradecimiento a la Universidad Industrial de Santander, por brindarme una formación integral y de alta calidad, fundamental en mi desarrollo académico y profesional; a todos los docentes que hicieron parte de este proceso, por su guía, sus enseñanzas y por ser consejeros a lo largo de mi carrera; a mi director de proyecto, por su acompañamiento, orientación y compromiso, un gran profesor que aportó significativamente al desarrollo de este trabajo; a mi familia, por su apoyo incondicional desde el inicio de esta etapa; a mis compañeros y amigos, con quienes este proceso fue más enriquecedor y llevadero; a mi compañero de tesis, quien desde el inicio de la carrera ha sido un gran apoyo y con quien, gracias a su compromiso y dedicación, logramos alcanzar este objetivo; y finalmente, al grupo OPALO, por su orientación, ayuda y valiosos aportes en la redacción de este proyecto.

Sebastián Valderrama Bonilla

Tabla de Contenido

| | Pág. |
|---|-------------|
| Introducción..... | 12 |
| 1. Planteamiento del problema..... | 15 |
| 2. Objetivos..... | 18 |
| 2.1 Objetivo general..... | 18 |
| 2.2 Objetivos específicos..... | 18 |
| 3. Marco de referencia..... | 19 |
| 3.1 Marco de antecedentes..... | 19 |
| 3.2 Marco teórico..... | 20 |
| 3.1.1 Gestión de inventarios..... | 20 |
| 3.1.2 Cadena de suministro..... | 21 |
| 3.1.3 Cadena de suministro hospitalaria..... | 22 |
| 3.1.4 Modelos integrados de inventario, localización y ruteo..... | 23 |
| 4. Metodología..... | 24 |
| 4.1 Diseño de la revisión sistemática..... | 24 |
| 4.1.1 Revisión sistemática..... | 24 |
| 4.1.2 Metodología PRISMA..... | 25 |
| 4.2 Aplicación de la metodología PRISMA..... | 26 |
| 4.3 Fase de identificación..... | 28 |
| 4.3.1 Planteamiento de la pregunta de investigación..... | 28 |
| 4.3.2 Selección de las bases de datos..... | 28 |
| 4.3.3 Estrategia y ecuación de búsqueda..... | 29 |

| | |
|--|----|
| 4.3.4 Resultados de la identificación..... | 31 |
| 4.4 Fase de Cribado..... | 31 |
| 4.4.1 Criterios de inclusión, exclusión y calidad | 31 |
| 4.5 Fase de elegibilidad..... | 32 |
| 4.6 Fase de inclusión | 33 |
| 4.6.1 Matriz de extracción y variables de análisis | 34 |
| 4.6.2 Codificación y clasificación analítica del corpus | 34 |
| 4.6.3 Desarrollo del análisis bibliométrico y visualización..... | 35 |
| 4.7 Síntesis comparativa de aplicabilidad..... | 36 |
| 5. Síntesis de la literatura revisada..... | 37 |
| 5.1 Análisis bibliométrico..... | 37 |
| 5.1.1 Distribución de la producción científica por país..... | 38 |
| 5.1.2 Distribución de la producción científica por país..... | 39 |
| 5.1.3 Distribución de documentos según su tipología..... | 41 |
| 5.1.4 Autores más productivos..... | 42 |
| 5.1.5 Análisis de coocurrencia | 43 |
| 5.2 Criterios de clasificación del corpus..... | 45 |
| 5.3 Relación 1. Técnicas y enfoques metodológicos | 47 |
| 5.3.1 Modelos determinísticos | 48 |
| 5.3.2 Modelos estocásticos y resiliencia..... | 48 |
| 5.3.3 Lógica difusa..... | 49 |
| 5.3.4 Simulación | 50 |
| 5.3.5 Innovaciones tecnológicas | 51 |

| | |
|--|----|
| 5.4 Relación 2. Problemas o dominios de aplicación..... | 51 |
| 5.4.1 Optimización de redes y rutas | 52 |
| 5.4.2 Inventarios de productos perecederos..... | 52 |
| 5.5 Relación 3. Gestión y evaluación..... | 53 |
| 5.5.1 Gestión estratégica y métricas..... | 53 |
| 5.6 Integración descriptiva de la literatura revisada..... | 54 |
| 5.6.1 Distribución del corpus por relación analítica y categórica..... | 54 |
| 5.6.2 Técnicas y problemas reportados por categoría | 56 |
| 5.6.3 Tipos de inventarios, contextos y políticas reportadas | 57 |
| 5.6.4 Herramientas computacionales y sistemas de análisis reportados | 58 |
| 5.6.5 Síntesis de los resultados de desempeño reportados | 60 |
| 5.6.6. Limitaciones y vacíos reportados por los estudios..... | 62 |
| 6. Análisis de la aplicabilidad de las técnicas en la literatura..... | 63 |
| 6.1 Criterios de comparación..... | 63 |
| 6.2 Aplicabilidad según el tipo de problema logístico | 64 |
| 6.3 Aplicabilidad según el tipo de inventario | 66 |
| 6.4 Aplicabilidad según el contexto operativo..... | 68 |
| 6.5 Síntesis comparativa de la aplicabilidad reportada | 70 |
| 7. Conclusiones | 72 |
| 8. Recomendaciones..... | 73 |
| Referencias Bibliográficas..... | 75 |

Lista de Tablas

| | Pág. |
|---|-------------|
| Tabla 1. Cumplimiento de objetivos. | 14 |
| Tabla 2. Descripción de cada fase para la metodología del proyecto. | 26 |
| Tabla 3. Criterios para la selección de artículos | 31 |
| Tabla 4. Síntesis de enfoques metodológicos y autores representativos en la literatura revisada. | 46 |
| Tabla 5. Distribución del corpus por relación analítica, categoría, número de artículos y función analítica. | 55 |
| Tabla 6. Técnicas y problemas reportados por categoría en la literatura revisada. | 56 |
| Tabla 7. Tipos de inventario, contextos y políticas reportadas en la literatura..... | 57 |
| Tabla 8. Herramientas computacionales y sistemas de análisis reportados en el corpus..... | 59 |
| Tabla 9. Resultados de desempeño reportados por la literatura revisada..... | 61 |
| Tabla 10. Técnicas reportadas en la literatura según el tipo de problema logístico. | 66 |
| Tabla 11. Relación reportada entre el tipo de inventario y las técnicas utilizadas en la literatura. | 68 |
| Tabla 12. Técnicas reportadas en la literatura según el contexto operativo hospitalario..... | 70 |
| Tabla 13. Síntesis integrada entre problema, técnica, herramienta y resultado reportado. | 71 |

Lista de Figuras

| | Pág. |
|--|-------------|
| Figura 1. Metodología según PRISMA..... | 27 |
| Figura 2. Proceso de búsqueda y selección. | 33 |
| Figura 3. Cantidad de documentos publicados por año. | 39 |
| Figura 4. Cantidad de documentos publicados por país..... | 40 |
| Figura 5. Cantidad de documentos según su tipo | 42 |
| Figura 6. Autores más productivos | 43 |
| Figura 7. Análisis de coocurrencia en Vosviewer | 45 |

Lista de Apéndices

Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS.

Apéndice A: Base de datos bibliográfica depurada y clasificada, conformada por los artículos analizados en la revisión sistemática.

Apéndice B: Artículo de carácter publicable.

Resumen

Título: Gestión de inventarios en la cadena de suministro hospitalaria. Una revisión sistemática de la literatura*

Autor: Jorge Armando Mendez León, Sebastián Valderrama Bonilla**

Palabras Clave: Gestión de inventarios hospitalarios, cadena de suministro, optimización, incertidumbre, revisión sistemática.

Descripción:

La gestión de inventarios en la cadena de suministro hospitalaria es un tema relevante para las instituciones de salud, debido a su relación con la disponibilidad de medicamentos, insumos médicos y productos críticos para la atención de los pacientes. Estas decisiones no se limitan al control de cantidades, sino que también dependen de la incertidumbre de la demanda, la vida útil de algunos productos, las restricciones presupuestarias y los niveles de servicio requeridos. Por ello, este trabajo tuvo como objetivo revisar y organizar la literatura científica sobre técnicas y herramientas de análisis aplicadas a la gestión de inventarios hospitalarios.

La investigación se desarrolló mediante una revisión sistemática basada en la metodología PRISMA. Se consultaron las bases de datos Scopus y Web of Science, identificándose inicialmente 1.422 documentos. Luego de aplicar criterios de inclusión, exclusión y calidad editorial, se seleccionaron 55 artículos publicados en revistas clasificadas en cuartil Q1. Estos estudios fueron analizados según sus enfoques metodológicos, problemas logísticos, tipos de inventario, contextos de aplicación, herramientas utilizadas y resultados reportados.

La revisión permitió identificar el uso de modelos de optimización, simulación, enfoques estocásticos, lógica difusa y tecnologías como ERP, DSS, RFID, RTLS, inteligencia artificial, Big Data e IoT. También se observaron resultados asociados con reducción de costos, mejora del nivel de servicio, disminución de desperdicios, mayor trazabilidad y disponibilidad de productos críticos.

Se concluye que no existe una técnica única aplicable a todos los escenarios. La selección de herramientas depende del problema logístico, el tipo de inventario, la calidad de los datos y las condiciones reales de implementación hospitalaria.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicomecánicas. Escuela de estudios industriales y empresariales.

Director: Javier Eduardo Arias Osorio. Magister en Administración.

Abstract

Title: Inventory management in the hospital supply chain. A systematic literature review *

Author: Jorge Armando Mendez León, Sebastián Valderrama Bonilla **

Key Words: Hospital inventory management, supply chain, optimization, uncertainty, systematic review.

Description:

Inventory management in the hospital supply chain is a relevant topic for healthcare institutions due to its connection with the availability of medications, medical supplies, and products critical to patient care. These decisions are not limited to quantity control but also depend on demand uncertainty, the shelf life of some products, budget constraints, and required service levels. Therefore, this study aimed to review and organize the scientific literature on analytical techniques and tools applied to hospital inventory management.

The research was conducted using a systematic review based on the PRISMA methodology. The Scopus and Web of Science databases were consulted, initially identifying 1,422 documents. After applying inclusion, exclusion, and editorial quality criteria, 55 articles published in journals ranked in the first quartile (Q1) were selected. These studies were analyzed according to their methodological approaches, logistical problems, inventory types, application contexts, tools used, and reported results.

The review identified the use of optimization models, simulation, stochastic approaches, fuzzy logic, and technologies such as ERP, DSS, RFID, RTLS, artificial intelligence, Big Data, and IoT. Results were also observed that included cost reduction, improved service levels, decreased waste, greater traceability, and increased availability of critical products.

The study concludes that there is no single technique applicable to all scenarios. The selection of tools depends on the logistics problem, the type of inventory, data quality, and the actual conditions of hospital implementation.

* Degree Work

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Industrial and Business Studies.
Director: Javier Eduardo Arias Osorio. Master in Administration.

Introducción

El sistema de salud enfrenta retos logísticos y operativos que influyen directamente en la calidad y continuidad de la atención. Entre estos retos, la gestión de inventarios en la cadena de suministro hospitalaria cumple un papel central, porque de ella depende la disponibilidad de medicamentos, insumos médicos y otros productos críticos requeridos para la atención de los pacientes. A diferencia de otros sectores, los hospitales toman decisiones de inventario en escenarios marcados por demanda incierta, restricciones presupuestales, exigencias de calidad y servicio, y productos que en muchos casos son críticos o tienen vida útil limitada. Por esta razón, administrar inventarios en este contexto no solo implica controlar costos, sino también asegurar capacidad de respuesta y continuidad operativa en las instituciones de salud (Moons et al., 2019; Nicholson et al., 2004).

Los antecedentes revisados muestran que la investigación sobre inventarios hospitalarios ha aumentado en los últimos años. Parte importante de esta literatura se ha desarrollado desde enfoques cuantitativos, especialmente mediante modelos de optimización, simulación y herramientas analíticas aplicadas al abastecimiento y a la eficiencia operativa en cadenas farmacéuticas y hospitalarias (Franco & Alfonso-Lizarazo, 2017). Sin embargo, revisiones recientes indican que muchos estudios se han concentrado principalmente en la reducción de costos, mientras que variables como nivel de servicio, integración entre decisiones, trazabilidad y respuesta ante escenarios de incertidumbre han recibido menor atención relativa (Vanbrabant et al., 2023). También se ha señalado la necesidad de fortalecer modelos robustos y resilientes frente a interrupciones de demanda, escasez de insumos y crisis sanitarias (Greene et al., 2024; Pathy & Rahimian, 2023).

De manera paralela, la literatura muestra un interés creciente por herramientas apoyadas en tecnologías de información, visibilidad del inventario y trazabilidad. En esta línea, se han propuesto diseños de redes de suministro y estrategias basadas en RFID para mejorar el control de productos médicos, reducir pérdidas y apoyar la toma de decisiones en la cadena de suministro hospitalaria (Hajipour et al., 2021; Zhou et al., 2025). Aun así, los aportes disponibles se encuentran distribuidos entre diferentes metodologías, contextos de aplicación y tipos de problema. Esta dispersión dificulta reconocer con claridad qué técnicas y herramientas se han utilizado, en qué condiciones se han aplicado, qué resultados reportan y cuáles son las brechas que permanecen abiertas.

En este contexto, la presente investigación se orienta por la siguiente pregunta: ¿Cuáles son las técnicas o herramientas de análisis utilizadas para la gestión de inventarios en la cadena de suministro hospitalaria? A partir de esta pregunta, el estudio desarrolla una revisión sistemática de la literatura con el propósito de identificar, clasificar y sintetizar las metodologías implementadas, las herramientas de análisis utilizadas, los contextos de aplicación y los resultados reportados en este campo.

La justificación de esta investigación se ubica tanto en el plano académico como en el práctico. Desde el ámbito académico, el trabajo contribuye a ordenar el estado actual de la literatura, clasificar los principales enfoques e identificar vacíos que puedan orientar futuras investigaciones en ingeniería, logística y gestión de operaciones en salud. Desde el ámbito práctico, ofrece una base documental para interpretar qué técnicas han sido reportadas, en qué contextos se han aplicado y qué resultados describen los autores. En ese sentido, el estudio no busca medir directamente mejoras en disponibilidad de insumos, reducción de desperdicios o fortalecimiento de la trazabilidad, sino aportar una síntesis que apoye procesos posteriores de

análisis, selección o adaptación de herramientas de gestión en instituciones de salud. Para ello, se adopta una revisión sistemática basada en la guía PRISMA, la cual permite desarrollar un proceso transparente y reproducible de identificación, selección y análisis de la evidencia científica relevante (Page et al., 2021).

Cumplimiento de objetivos

Tabla 1.

Cumplimiento de objetivos.

| Objetivo | Cumplimiento |
|--|---------------------|
| Establecer el protocolo de la revisión sistemática y realizar la búsqueda exhaustiva de documentos relacionados con la gestión de inventarios en la cadena de suministro hospitalaria. | Capítulo 4 |
| Seleccionar, organizar y analizar los documentos encontrados en la búsqueda exhaustiva de información, a partir del protocolo de la metodología PRISMA. | Capítulo 4 |
| Sintetizar los resultados obtenidos y organizarlos, a partir de la pregunta de investigación planteada en el protocolo de la revisión sistemática. | Capítulo 5 y 6 |
| Elaborar un artículo de carácter publicable donde se presenten los resultados de la revisión de literatura. | Apéndice B |

1. Planteamiento del problema

La gestión de inventarios constituye un componente crítico dentro de la cadena de suministro hospitalaria, un sector donde los costos de suministros médicos representan el segundo gasto más significativo, solo superado por los costos de personal (Moons et al., 2019). Tradicionalmente, esta gestión se ha enmarcado en sistemas de inventario de dos o tres niveles, centrados principalmente en decisiones operativas de reposición (Lapierre & Ruiz, 2007). Sin embargo, la creciente complejidad de los flujos logísticos, la fragmentación de la base de proveedores y las ineficiencias administrativas evidencian que este enfoque resulta insuficiente para garantizar la eficiencia y resiliencia requeridas en los contextos sanitarios actuales (Moons et al., 2019).

La base conceptual del campo revela que la gestión trasciende el mero control de inventarios e implica decisiones críticas de programación de actividades y asignación de recursos humanos y de almacenamiento (Lapierre & Ruiz, 2007). Asimismo, se ha identificado que los niveles de inventario a menudo se establecen de manera impulsiva o basada en la experiencia, careciendo de un sustento analítico robusto (Nicholson et al., 2004). Esta problemática se ve agravada por la naturaleza perecedera de insumos críticos como fármacos y hemoderivados, lo que impone restricciones adicionales relacionadas con la caducidad y las condiciones de almacenamiento (Volland et al., 2017). En este contexto, la ausencia de marcos de referencia que clasifiquen y sintetizen las técnicas disponibles limita directamente la capacidad de los tomadores de decisión para seleccionar herramientas adecuadas, lo que se traduce en políticas de reposición subóptimas y en una mayor exposición al riesgo de desabastecimiento de insumos críticos.

Revisiones de literatura recientes subrayan avances significativos, pero también destacan vacíos persistentes. Existe una clara falta de métricas estandarizadas para medir el desempeño de la cadena de suministro interna hospitalaria (Moons et al., 2019), y la investigación adolece de un enfoque holístico. La mayoría de los estudios se concentran en decisiones tácticas y operativas, con una integración limitada de problemas de decisión multi-nivel y una consideración insuficiente de restricciones realistas, como los niveles de servicio exigentes y la gestión de inventarios por antigüedad del producto (Vanbrabant et al., 2023). Además, el sector sanitario parece ir a la zaga en la adopción de técnicas de gestión de la cadena de suministro que han demostrado éxito en otras industrias (Vanbrabant et al., 2023).

En la investigación empírica contemporánea, se observa una tendencia hacia el desarrollo de modelos sofisticados de optimización bajo incertidumbre, simulación y teoría de juegos para abordar problemas integrados de producción, distribución e inventario (Franco & Alfonso-Lizarazo, 2020; Goodarzian, Kumar, et al., 2021; Priyan & Mala, 2020). Autores como Goodarzian, Kumar, et al. (2021) incorporan criterios de sostenibilidad y resiliencia, particularmente relevantes tras la pandemia de COVID-19, que expuso la vulnerabilidad de estas cadenas (Pathy & Rahimian, 2023). No obstante, persisten limitaciones cruciales: un número significativo de estudios de simulación tiende a permanecer en un nivel conceptual, con escasa evidencia de implementación práctica (Alidoost et al., 2025), y la aplicación de inteligencia artificial para la predicción y gestión de inventarios constituye un área emergente con evidencia incipiente que, precisamente por ello, requiere ser sistematizada y evaluada críticamente para orientar su adopción en entornos hospitalarios reales (Jessica et al., 2025).

A pesar del crecimiento de la literatura sobre gestión de inventarios hospitalarios, el conocimiento disponible se encuentra disperso entre diferentes técnicas, tipos de inventario,

contextos operativos, indicadores de desempeño y niveles de validación. Esta dispersión dificulta identificar con claridad qué herramientas han sido utilizadas, para qué problemas logísticos se han aplicado, qué resultados reportan y bajo qué condiciones pueden ser interpretadas. Por tanto, la necesidad central de esta investigación no consiste en resolver directamente las ineficiencias operativas de los hospitales, sino en organizar la evidencia científica disponible para construir un marco de referencia que permita comprender la aplicabilidad de las técnicas de análisis en la cadena de suministro hospitalaria.

En este sentido, la revisión sistemática se justifica como una estrategia metodológica adecuada para consolidar, clasificar y sintetizar la literatura existente bajo un proceso transparente y reproducible. La metodología PRISMA no se adopta como una solución operativa directa al problema hospitalario, sino como una ruta para identificar patrones, herramientas, resultados reportados y vacíos de investigación. De esta manera, el estudio busca aportar una síntesis estructurada que sirva como base para futuras investigaciones y para la toma de decisiones informada en contextos de gestión hospitalaria.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Realizar una revisión sistemática de la literatura, a partir de la metodología PRISMA, sobre la gestión de inventarios en la cadena de suministro hospitalaria con el fin de identificar buenas prácticas, metodologías implementadas, herramientas de análisis cuantitativo aplicadas, contexto de aplicación y resultados reportados por la literatura científica como base para orientar futuras investigaciones y apoyar la toma de decisiones en el sector salud.

2.2 Objetivos específicos

1. Establecer el protocolo de la revisión sistemática y realizar la búsqueda exhaustiva de documentos relacionados con la gestión de inventarios en la cadena de suministro hospitalaria.
2. Seleccionar, organizar y analizar los documentos encontrados en la búsqueda exhaustiva de información, a partir del protocolo de la metodología PRISMA.
3. Sintetizar los resultados obtenidos y organizarlos, a partir de la pregunta de investigación planteada en el protocolo de la revisión sistemática.
4. Elaborar un artículo de carácter publicable donde se presenten los resultados de la revisión de literatura.

3. Marco de referencia

3.1 Marco de antecedentes

En los últimos años, diversos estudios han abordado la optimización de procesos logísticos y de inventario en el sector hospitalario, evidenciando la necesidad de fortalecer la trazabilidad y eficiencia en la gestión de recursos médicos. Manrique Saavedra (2025) desarrolló un modelo de optimización para la recolección de residuos hospitalarios considerando una flota heterogénea y carga compartida, mediante programación lineal entera mixta y técnicas metaheurísticas. El objetivo de su trabajo fue mejorar la eficiencia del transporte de residuos sin comprometer la seguridad operativa. Sus resultados mostraron una reducción significativa en los tiempos y costos de recolección; sin embargo, el modelo se mostró sensible a los costos y no profundizó en la gestión de inventarios ni en la incorporación de tecnologías emergentes, lo cual abre la posibilidad de extender su enfoque hacia la trazabilidad y control de insumos médicos.

Por su parte, Arias Vega (2020) planteó un modelo de localización y ruteo de vehículos de dos escalones aplicado a la logística hospitalaria, con el objetivo de mejorar la distribución de suministros médicos. Para ello, utilizó un algoritmo genético bidimensional que permitió disminuir costos y tiempos asociados al proceso de distribución, mostrando la utilidad de las herramientas de optimización en la planeación logística del sector salud. Sin embargo, el estudio no incorporó variables relacionadas con la incertidumbre de la demanda ni mecanismos de trazabilidad para el control de inventarios, aspectos que resultan relevantes en entornos hospitalarios donde la disponibilidad, el seguimiento y la oportunidad de entrega son críticos.

De manera complementaria, Torres Gomez (2023) desarrolló un modelo determinístico mono-objetivo para el diseño de una red de cadena de suministro farmacéutica multi-ítem y multiperiodo, empleando programación lineal entera mixta. Su trabajo se enfocó en analizar la

relación entre las decisiones de producción, almacenamiento y distribución, y su efecto sobre la eficiencia general del sistema logístico.

El autor concluyó que la optimización de la red logística permite mejorar los niveles de servicio y reducir los costos totales, aunque su modelo no consideró la logística inversa ni el uso de tecnologías como RFID para el seguimiento y control de inventarios.

En conjunto, estos antecedentes demuestran la relevancia de aplicar modelos cuantitativos en la mejora de la logística hospitalaria y la gestión de inventarios, así como la necesidad de incorporar enfoques que integren la trazabilidad, la incertidumbre y las herramientas tecnológicas como apoyo a la toma de decisiones. Esta revisión sustenta la pertinencia del presente estudio, que busca analizar de forma sistemática los modelos cuantitativos y herramientas aplicadas a la gestión de inventarios hospitalarios, con el fin de aportar a la eficiencia y sostenibilidad del sistema de suministro en el sector salud.

3.2 Marco teórico

3.2.1 *Gestión de inventarios*

La gestión de inventarios se entiende como el conjunto de políticas, métodos y modelos que buscan equilibrar la disponibilidad de productos con los costos de almacenamiento, mantenimiento y riesgo de desabastecimiento. En el ámbito hospitalario, esta función se vuelve crítica, ya que una interrupción en el suministro puede comprometer directamente la seguridad del paciente. Según J. Shang et al. (2008), los Sistemas de Soporte a Decisiones (DSS) permiten determinar niveles óptimos de inventario y cobertura a partir de simulaciones y datos integrados del ERP, alcanzando altos niveles de servicio y reduciendo inventarios excesivos. De manera complementaria, Uthayakumar & Priyan (2013) desarrollaron un modelo integrado de dos escalones orientado a optimizar decisiones como el tamaño de lote, el tiempo de entrega y el

número de despachos, incorporando además el deterioro de los productos y las restricciones de espacio. Por su parte, Niakan & Rahimi (2015), propusieron un modelo de ruteo de inventarios en salud basado en lógica difusa, dirigido a reducir costos logísticos, emisiones y riesgos de desabastecimiento. Estos aportes muestran que la gestión de inventarios hospitalarios requiere herramientas cuantitativas capaces de adaptarse a condiciones de incertidumbre, restricciones operativas y múltiples criterios de decisión.

A este enfoque se suman las Prácticas de Gestión de la Cadena de Suministro impulsadas por tecnología, conocidas como SCMPs, las cuales facilitan el seguimiento de indicadores clave de desempeño, como la rotación de existencias y los niveles de servicio, mediante herramientas de inteligencia de negocio (Bialas et al., 2023). Sin embargo, la efectividad de estos sistemas depende de la calidad de la información registrada. En los puntos de atención, los errores en la captura del consumo pueden afectar el nivel de servicio e incrementar los costos operativos, por lo que se requieren mecanismos de conciliación y control de datos que permitan conservar la confiabilidad de la información dentro de la cadena (Neve et al., 2021).

3.2.2 Cadena de suministro

La cadena de suministro puede entenderse como un sistema integrado de procesos, actores e información que permite llevar los bienes desde los proveedores hasta los usuarios finales. En el caso hospitalario y farmacéutico, esta coordinación resulta más compleja, debido a que intervienen actores con prioridades diferentes. Kelle et al. (2012) señalan que, mientras los médicos suelen priorizar la disponibilidad y variedad de medicamentos, los administradores tienden a enfocarse en la reducción de costos y el aprovechamiento de economías de escala, lo que puede generar tensiones en la toma de decisiones. Por esta razón, la gestión de la cadena requiere mayor colaboración entre las áreas clínicas, administrativas y logísticas. En este sentido, Zhou et al.

(2025), muestran que la adopción de tecnologías RFID en la cadena farmacéutica puede mejorar la visibilidad del inventario y la precisión de los datos, aunque su efectividad depende de condiciones como la competencia entre hospitales y los esquemas de reembolso. De esta manera, la eficiencia de la cadena no depende únicamente de incorporar tecnología, sino también de alinear los objetivos de los actores que participan en ella.

Bajo una perspectiva moderna, la optimización de la cadena requiere una gestión holística que integre decisiones estratégicas, tácticas y operativas (como localización, inventarios y ruteo) para evitar rendimientos subóptimos y maximizar la calidad del cuidado (Vanbrabant et al., 2023). En entornos de alta volatilidad, la implementación de modelos de Planificación, Previsión y Reposición Colaborativa (CPFR) se vuelve esencial para mitigar riesgos de desabastecimiento y fortalecer la resiliencia de todo el sistema sanitario (Friday et al., 2021).

3.2.3 Cadena de suministro hospitalaria

La cadena de suministro hospitalaria se distingue por el manejo de productos de alta sensibilidad y corta vida útil como plaquetas, vacunas y medicamentos biológicos, sometidos a estrictas condiciones de almacenamiento y una demanda incierta. Hosseini-Motlagh et al. (2025) proponen un modelo difuso de revisión periódica combinado con trasbordos reactivos para optimizar la equidad en la distribución de plaquetas, demostrando que los enfoques colaborativos mejoran la disponibilidad sin elevar significativamente los costos. De manera complementaria, Hovav & Tsadikovich (2015) desarrollan un modelo de flujo de red para la distribución de vacunas que minimiza costos totales y permite gestionar escaseces planificadas (planned-shortage paradox), priorizando la eficiencia del sistema y los beneficios públicos. Estos estudios muestran que la cadena hospitalaria exige herramientas flexibles y predictivas para responder a la incertidumbre y preservar la continuidad del servicio.

Complementando lo anterior, la integración de la Cadena de Suministro Circular (CSC) busca reducir el desperdicio y aumentar la visibilidad de los procesos mediante políticas de reciclaje y reutilización (Dolatabad et al., 2022). Asimismo, el uso de sistemas de trazabilidad (como RFID) es vital para monitorear en tiempo real la vida útil de los productos perecederos y asegurar que el paciente reciba insumos en condiciones óptimas (Hajipour et al., 2021). Para mitigar las interrupciones, los trasbordos laterales reactivos entre hospitales permiten redistribuir excedentes hacia centros con escasez, garantizando niveles de servicio uniformes en toda la red de salud (Elarbi et al., 2024; Hosseini-Motlagh et al., 2025).

3.2.4 Modelos integrados de inventario, localización y ruteo

En la cadena de suministro hospitalaria, las decisiones de inventario no siempre pueden analizarse de manera aislada, debido a que la disponibilidad de insumos depende de la interacción entre almacenamiento, transporte, localización, capacidad, criticidad clínica y tiempos de entrega. En este sentido, la literatura reciente ha resaltado la necesidad de integrar decisiones estratégicas, tácticas y operativas para evitar soluciones parciales que optimicen un eslabón de la cadena, pero generen ineficiencias en otros puntos del sistema hospitalario (Vanbrabant et al., 2023).

Dentro de estos enfoques integrados se encuentra el problema de ruteo de inventarios, conocido como Inventory Routing Problem (IRP), el cual combina decisiones de inventario y transporte para definir simultáneamente cuánto entregar, cuándo entregar y qué rutas utilizar. Este tipo de modelo es relevante para redes hospitalarias porque permite coordinar niveles de stock, frecuencias de abastecimiento y distribución de productos críticos entre diferentes nodos de atención (Timajchi et al., 2019). Asimismo, los modelos de localización-inventario-ruteo, conocidos como Location-Inventory-Routing Problem (LIRP), amplían este análisis al incorporar

decisiones sobre ubicación de instalaciones, asignación de demanda, niveles de inventario y rutas de distribución en un mismo marco de decisión (X. Shang et al., 2022).

Estos modelos resultan especialmente importantes en contextos donde se gestionan medicamentos, insumos perecederos, productos con restricciones de trazabilidad o redes con múltiples hospitales y centros de distribución. Por ejemplo, Hajipour et al. (2021) incorporan trazabilidad y vida útil en el diseño de redes de suministro en salud, mientras que Alizadeh et al. (2020) analizan el diseño de redes directas e inversas considerando riesgos biológicos en suministros médicos. En conjunto, estos aportes permiten comprender por qué la gestión moderna de inventarios hospitalarios requiere enfoques que vinculen inventario, localización, ruteo, riesgo y desempeño logístico.

4. Metodología

4.1 Diseño de la revisión sistemática

4.1.1 Revisión sistemática

La revisión sistemática es un procedimiento organizado que permite localizar, seleccionar y sintetizar estudios previos sobre un tema definido, siguiendo criterios explícitos de búsqueda, inclusión y exclusión. Su valor está en que no se limita a reunir documentos, sino que busca ordenar la evidencia disponible para identificar tendencias, vacíos y formas de abordaje dentro de un campo de estudio. En ingeniería industrial y gestión de operaciones, este tipo de revisión resulta útil para comparar modelos cuantitativos, como enfoques determinísticos, estocásticos o difusos, aplicados a problemas de inventarios hospitalarios. En este sentido, trabajos como los de Niakan & Rahimi (2015), muestran cómo las técnicas de optimización pueden ser analizadas de manera conjunta para comprender su aplicación en cadenas de suministro farmacéuticas.

Actualmente, las revisiones sistemáticas también permiten estudiar la incorporación de tecnologías emergentes en la gestión de operaciones. Un ejemplo de ello es el Big Data Analytics (BDA), utilizado para procesar grandes volúmenes de información considerando aspectos como variedad, velocidad y volumen de los datos (Goodarzian et al., 2024). En el contexto hospitalario, este tipo de herramientas puede apoyar el análisis de pronósticos de demanda, la gestión de suministros críticos y la toma de decisiones en escenarios de incertidumbre o crisis. Por esta razón, su inclusión dentro de una revisión sistemática permite reconocer no solo los modelos utilizados, sino también las herramientas tecnológicas que respaldan su aplicación.

4.1.2 Metodología PRISMA

La metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) ofrece una guía para desarrollar y reportar revisiones sistemáticas de manera ordenada y transparente. Esta metodología se estructura en cuatro fases principales: identificación, cribado, elegibilidad e inclusión, como se presenta en la Figura 1. Su uso permite documentar el proceso de búsqueda, selección y análisis de los estudios, favoreciendo la trazabilidad y la reproducibilidad de la revisión (Page et al., 2021). En este trabajo, PRISMA se empleó como ruta metodológica para organizar los artículos seleccionados según el tipo de modelo utilizado, la técnica o herramienta aplicada y las variables de desempeño consideradas, tales como costo, nivel de servicio, disponibilidad o desperdicio.

Además, la aplicación de PRISMA permitió integrar estudios que abordan dimensiones económicas, ambientales, operativas y sociales dentro de la cadena de suministro hospitalaria. Esta estructura facilitó la revisión de investigaciones relacionadas con gestión de riesgos, incertidumbre, sostenibilidad y optimización robusta, aspectos relevantes para comprender cómo las cadenas de suministro en salud pueden responder ante cambios en la demanda, restricciones de

abastecimiento y variaciones en los tiempos de entrega (Goodarzian, Kumar, et al., 2021; Vanbrabant et al., 2023).

4.2 Aplicación de la metodología PRISMA

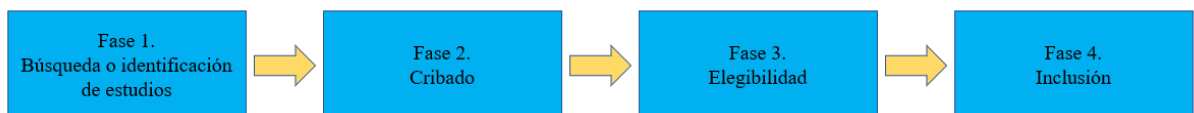
Para organizar el desarrollo metodológico de la investigación, la Tabla 2 presenta la forma en que se aplicó la metodología PRISMA en el estudio. En ella se relacionan las fases de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión con los objetivos específicos y las actividades realizadas durante la revisión sistemática.

Tabla 2.

Descripción de cada fase para la metodología del proyecto.

| Fase | Objetivo específico asociado | Actividades |
|---------------------------------------|--|--|
| Búsqueda o identificación de estudios | Establecer el protocolo de la revisión sistemática y realizar la búsqueda exhaustiva de documentos relacionados con la gestión de inventarios en la cadena de suministro hospitalaria. | <ul style="list-style-type: none"> • Formular la pregunta de investigación estableciendo claramente qué se quiere investigar, los conceptos claves y el alcance temático de la revisión. • Establecer los criterios de inclusión y exclusión que determinan que estudios se incluirán en la revisión. • Formular la ecuación de búsqueda de forma que integre los ejes temáticos definidos, incorporando los conceptos clave necesarios para garantizar una recuperación amplia, precisa y pertinente de la literatura. • Realizar una búsqueda exhaustiva en bases de datos relevantes (WOS y SCOPUS) utilizando la ecuación de búsqueda. |
| Cribado | Seleccionar, organizar y analizar los documentos encontrados en la búsqueda exhaustiva de información, a partir del protocolo de la metodología PRISMA. | <ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar los estudios obtenidos a partir de la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión, depurando duplicados. |
| Elegibilidad | Sintetizar los resultados obtenidos y organizarlos, a partir de la pregunta de investigación planteada en el protocolo de la revisión sistemática. | <ul style="list-style-type: none"> • Aplicar el criterio de calidad editorial definido para la revisión, considerando únicamente artículos publicados en revistas clasificadas en |

| Fase | Objetivo específico asociado | Actividades |
|-----------|---|---|
| Inclusión | Elaborar un artículo de carácter publicable donde se presenten los resultados de la revisión de literatura. | <p>cuartil Q1 según indicadores bibliométricos como Journal Impact Factor y CiteScore..</p> <ul style="list-style-type: none"> • Extraer la información pertinente de los estudios seleccionados con enfoque en las metodologías aplicadas, asegurando que se mantenga la precisión de los datos para responder a la pregunta de investigación. • Sintetizar los resultados obtenidos en los estudios seleccionados mediante una síntesis, agrupando los resultados según categorías relevantes. • Organizar los hallazgos de acuerdo con los ejes temáticos y metodológicos identificados en la revisión. • Elaborar un síntesis descriptivo y conceptual que relacione los enfoques, métodos y resultados encontrados con la pregunta de investigación. • Redactar un artículo académico siguiendo los lineamientos PRISMA. • Gestionar la publicación del artículo, asegurando su disponibilidad de manera que sea accesible a la comunidad científica y a otras partes interesadas, permitiendo que aporte al conocimiento. |

Figura 1.*Metodología según PRISMA***Nota:** Adaptado de Page et al. (2021).

4.3 Fase de identificación

4.3.1 Planteamiento de la pregunta de investigación

Se definió la pregunta de investigación que orientó todo el protocolo: ¿Cuáles son las técnicas o herramientas de análisis utilizadas para la gestión de inventarios en la cadena de suministro hospitalaria?

Esta pregunta se estructuró bajo la lógica PICO, delimitando la población (instituciones del sector salud y sistemas hospitalarios), la intervención (técnicas y herramientas de análisis aplicadas a la gestión de inventarios, tales como modelos de optimización, simulación y enfoques estocásticos), el comparador (no aplicable en el contexto de esta revisión, dado su carácter descriptivo) y los resultados (identificación de las técnicas utilizadas y sus características de aplicación en el entorno hospitalario).

4.3.2 Selección de las bases de datos

La selección de las bases de datos para realizar la revisión sistemática de la literatura se llevó a cabo en las bases de datos Scopus y Web of Science. Estas bases de datos son idóneas para revisiones de literatura, análisis bibliométricos y evaluación de la producción científica, contienen información relevante como el perfil de autores, instituciones, análisis de citas y acceso a revistas científicas de alto impacto. Además, abarcan una amplia colección multidisciplinaria de resúmenes, índices y referencias de literatura científica, técnica y médica a nivel mundial.

La selección de estas bases de datos como fuentes principales para llevar a cabo la revisión sistemática de literatura constituye una decisión estratégica fundamentada en las ventajas y características que ambas plataformas ofrecen. En primer lugar, estas bases permiten consultar una amplia variedad de documentos académicos relacionados con el tema de investigación, lo que facilita la búsqueda de estudios sobre técnicas y herramientas aplicadas a la gestión de inventarios

en la cadena de suministro hospitalaria. Además, Scopus y Web of Science reúnen revistas científicas internacionales con procesos de indexación reconocidos, lo que aporta confiabilidad y respaldo académico a las fuentes seleccionadas.

De igual manera, la actualización permanente de estas plataformas permite acceder a investigaciones recientes y mantener la revisión conectada con los avances del campo. Por esta razón, el uso conjunto de Scopus y Web of Science favorece una búsqueda más amplia, rigurosa y pertinente para el desarrollo de la investigación.

4.3.3 Estrategia y ecuación de búsqueda

El diseño de la ecuación de búsqueda se construyó de forma progresiva, mediante varias pruebas y ajustes que permitieron mejorar su precisión y amplitud. Este proceso se organizó en tres momentos principales, con el fin de asegurar que la estrategia fuera clara, reproducible y coherente con la pregunta de investigación. Además, se utilizó la herramienta de inteligencia artificial de Scopus como apoyo para identificar términos relacionados, sinónimos y conexiones conceptuales que ayudaran a fortalecer la búsqueda.

Fase exploratoria inicial: Se inició con una búsqueda preliminar a partir de combinaciones sencillas de términos centrales, como “inventory management” y “hospital supply chain”. Esta primera revisión permitió reconocer palabras frecuentes, temas dominantes y posibles coincidencias entre la gestión de inventarios, la logística hospitalaria y las herramientas de análisis aplicadas en el campo.

Fase de refinamiento conceptual iterativo: A partir de los resultados preliminares, se llevaron a cabo sucesivas iteraciones de prueba y ajuste con el propósito de ampliar y depurar la estrategia de búsqueda. Este proceso permitió incorporar sinónimos, variantes terminológicas y

conceptos relacionados en tres dominios conceptuales interconectados, los cuales delimitan el alcance temático del estudio:

- Dominio 1: Gestión de Inventarios, integrando términos como “inventory control” y “stock management”.
- Dominio 2: Cadena de Suministro Hospitalaria, que incluyó expresiones como “healthcare logistics” y “pharmaceutical supply chain”.
- Dominio 3: Técnicas y Herramientas Analíticas, que abarcó un espectro de métodos desde “optimization technique*” y “simulation” hasta “operations research” y “data analytics”.

Fase de construcción y validación de la ecuación final: Con base en la integración de los tres dominios, se consolidó la siguiente ecuación de búsqueda final, diseñada para garantizar un equilibrio entre exhaustividad y relevancia temática:

(TITLE-ABS-KEY("inventory management" OR "inventory control" OR "inventory" OR "stock management") AND ("hospital supply chain" OR "healthcare supply chain" OR "medical supply chain" OR "hospital logistics" OR "healthcare logistics" OR "healthcare" OR "pharmaceutical supply chain") AND ("analysis technique" OR "analysis tool*" OR "management tool*" OR "decision support tool*" OR "optimization technique*" OR "forecasting method*" OR "analytical method*" OR "simulation" OR "mathematical model*" OR "decision support system*" OR "operations research" OR "decision making" OR "data analytics" OR "optimization*"))*

4.3.4 *Resultados de la identificación*

Como resultado de la búsqueda inicial, tras aplicar la ecuación definida en el apartado anterior, se identificaron un total de 1.422 documentos: 965 corresponden a la base de datos Scopus y 457 a Web of Science.

4.4 **Fase de Cribado**

4.4.1 *Criterios de inclusión, exclusión y calidad*

Para seleccionar los documentos más adecuados para la revisión, se definieron criterios de inclusión y exclusión que permitieran filtrar los resultados obtenidos en las bases de datos. Estos criterios ayudaron a conservar únicamente los estudios relacionados con la gestión de inventarios, la logística hospitalaria y las herramientas de análisis aplicadas en instituciones de salud, manteniendo la coherencia con el objetivo de la investigación.

Este proceso se desarrolló siguiendo la estructura de la metodología PRISMA, con el fin de dejar claro cómo se realizó la depuración de los documentos y cuáles fueron las condiciones utilizadas para decidir su inclusión o exclusión. Los criterios establecidos se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3.

Criterios para la selección de artículos

| Criterio | Descripción |
|---------------------|---|
| De inclusión | <ul style="list-style-type: none"> • Artículos originales y casos de estudio. • Documentos disponibles en inglés o español. • Estudios disponibles en texto completo dentro de las bases de datos seleccionadas (Scopus y WOS). • Área temática: Estudios centrados en gestión de inventarios, logística hospitalaria o cadena de suministro en instituciones de salud. |
| De exclusión | <ul style="list-style-type: none"> • Duplicados: Estudios que aparezcan en más de una base de datos. |

| Criterio | Descripción |
|-------------------|--|
| De calidad | <ul style="list-style-type: none"> • Publicaciones no académicas: Editoriales, cartas al editor, resúmenes de conferencia sin acceso a texto completo, notas técnicas o reportes institucionales no revisados por pares. • Ausencia de técnicas de análisis: documentos que abordaban la gestión de inventarios de manera general, pero que no describían, aplicaban o analizaban explícitamente al menos una técnica, modelo, sistema, herramienta computacional, metodología cuantitativa, estrategia de optimización, simulación, sistema de información o mecanismo de apoyo para la toma de decisiones relacionado con la gestión de inventarios hospitalarios. • Fuera de contexto: Estudio sobre inventarios en cadena de suministro de otros sectores (manufactura, retail, agrícola, etc.) que no incluyan hospitales o sistemas de salud. <ul style="list-style-type: none"> • Calidad de la revista Q1 según indicadores bibliométricos como el Journal Impact Factor (JIF) de WOS y el CiteScore de Scopus. |

En esta fase se depuraron los documentos obtenidos en la búsqueda inicial mediante la aplicación de filtros de idioma (inglés y español) y tipo de documento (artículos, revisiones y casos de estudio). Posteriormente, se eliminaron 332 documentos duplicados, obteniendo un total de 800 documentos tras esta depuración. A continuación, se realizó una revisión de títulos y resúmenes, en la cual se excluyeron 686 documentos por no cumplir con los criterios establecidos, dando como resultado del proceso de cribado un total de 114 documentos seleccionados.

4.5 Fase de elegibilidad

En esta fase se aplicó el criterio de calidad a los 114 documentos seleccionados en el proceso de cribado, con el fin de garantizar el rigor académico de los estudios considerados. Específicamente, se estableció como criterio la inclusión exclusiva de artículos publicados en revistas clasificadas en cuartil Q1, de acuerdo con indicadores bibliométricos como el Journal Impact Factor y el CiteScore.

Como resultado de esta evaluación, se excluyeron 59 documentos que no cumplían con dicho criterio, obteniendo un total de 55 artículos para la fase final de análisis.

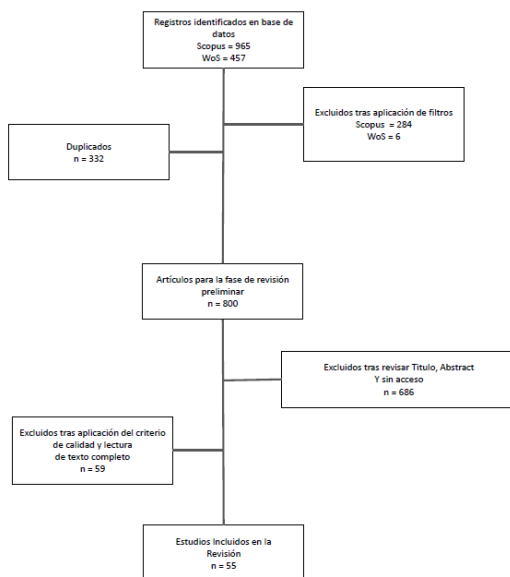
4.6 Fase de inclusión

En esta fase se realizó la revisión y análisis detallado de los 55 artículos seleccionados, los cuales conforman el conjunto final de estudios incluidos en la investigación. Estos documentos fueron examinados en profundidad para la extracción, organización y síntesis de la información.

El proceso completo de identificación, filtrado y selección se presenta en la Figura 2, donde se ilustra el flujo de depuración de los estudios conforme a la metodología PRISMA. Asimismo, la base de datos consolidada de los artículos seleccionados se encuentra disponible en el Apéndice A, garantizando la trazabilidad y reproducibilidad del estudio.

Figura 2.

Proceso de búsqueda y selección.



4.6.1 *Matriz de extracción y variables de análisis*

Para garantizar la organización sistemática del corpus seleccionado, se utilizó una matriz de extracción de información en la que se registraron variables bibliográficas, metodológicas, técnicas, operativas y analíticas de cada artículo incluido. La matriz completa, con el registro detallado de los 55 artículos analizados, se presenta en el Apéndice A; en esta sección se expone su estructura metodológica y su función dentro del proceso de análisis.

La matriz se estructuró en bloques de información orientados a identificar el estudio, caracterizar su enfoque metodológico, describir el problema logístico abordado, reconocer el tipo de inventario analizado, registrar las técnicas y herramientas utilizadas, sintetizar los principales hallazgos y justificar su relevancia para la revisión. Esta organización permitió analizar los artículos bajo criterios homogéneos y reducir la subjetividad en la clasificación del corpus.

4.6.2 *Codificación y clasificación analítica del corpus*

La clasificación del corpus se realizó mediante un proceso de codificación temática aplicado sobre la matriz de extracción. Para cada artículo se revisaron los campos registrados en la matriz, especialmente el tipo de estudio, nivel de la cadena de suministro, contexto de aplicación, tipo de inventario analizado, políticas de inventario, variables consideradas, técnicas cuantitativas, técnica cualitativa, herramienta analítica, objetivo principal, principales hallazgos, aporte a la gestión de inventarios hospitalarios, nivel de relevancia, justificación de inclusión y relación asignada. A partir de esta lectura se identificó el aporte principal de cada estudio y se diferenciaron tres tipos de contribución: técnica o enfoque metodológico, problema o dominio de aplicación, y gestión o evaluación.

La codificación tuvo un carácter mixto. En una primera etapa se aplicó una lógica deductiva, tomando como referencia la pregunta de investigación, los objetivos específicos y los

campos definidos en la matriz de extracción. Posteriormente, se aplicó una lectura inductiva de los artículos para ajustar las categorías según los aportes reales del corpus. De esta manera, la taxonomía final no fue impuesta de forma arbitraria, sino construida a partir de la relación entre el protocolo metodológico, las variables de la matriz y los patrones observados en los 55 estudios revisados.

La primera relación agrupó los artículos cuyo aporte principal estaba asociado al desarrollo o aplicación de modelos, métodos o herramientas analíticas, tales como programación lineal entera mixta, simulación, lógica difusa, optimización robusta, inteligencia artificial, RFID, ERP, DSS, IoT o blockchain. Esta agrupación se apoyó en los campos de la matriz relacionados con técnicas cuantitativas, técnica cualitativa, herramienta analítica y variables consideradas.

La segunda relación reunió estudios centrados en problemas logísticos específicos, como ruteo, localización, distribución, precederidad, trazabilidad, transbordos e inventarios de productos críticos. Esta clasificación se apoyó en los campos de nivel de la cadena de suministro, contexto de aplicación, tipo de inventario analizado, políticas de inventario y problema logístico abordado.

La tercera relación integró investigaciones orientadas a métricas de desempeño, implementación, reorganización logística, prácticas Lean, outsourcing, preparación tecnológica y evaluación organizacional. Esta relación se construyó principalmente a partir de los campos de objetivo principal del estudio, principales hallazgos, aporte a la gestión de inventarios hospitalarios, nivel de relevancia y justificación de inclusión.

4.6.3 Desarrollo del análisis bibliométrico y visualización

El análisis bibliométrico se desarrolló con el propósito de caracterizar la producción científica del corpus seleccionado. Para ello, se analizaron variables como año de publicación, país

de afiliación, tipo de documento, autores más productivos y palabras clave. Estos indicadores permitieron describir la evolución del campo y contextualizar la síntesis temática posterior.

Inicialmente, las bases de datos obtenidas de Web of Science y Scopus fueron integradas y gestionadas mediante la plataforma Rayyan, facilitando el proceso de consolidación, eliminación de duplicados y selección de estudios. Posteriormente, se empleó el software R para la extracción, depuración, organización y procesamiento de la información bibliométrica obtenida de los artículos seleccionados.

Para la representación y ajuste de gráficas bibliométricas se utilizó Microsoft Excel, permitiendo visualizar de manera descriptiva la evolución temporal, distribución geográfica y demás indicadores analizados. Adicionalmente, se utilizó VOSviewer para construir mapas de coocurrencia de palabras clave, identificando agrupamientos temáticos dentro del corpus a partir de la frecuencia y relación entre términos asociados a inventarios, cadenas de suministro hospitalarias, incertidumbre, simulación, redes farmacéuticas y toma de decisiones.

El análisis bibliométrico no sustituyó la revisión de contenido de los artículos, sino que funcionó como un complemento descriptivo para identificar tendencias generales del campo de estudio.

4.7 Síntesis comparativa de aplicabilidad

La síntesis comparativa de aplicabilidad presentada en la sección 5 se construyó mediante el cruce de variables registradas en la matriz de extracción. En primer lugar, se identificó para cada artículo la técnica principal reportada, a partir de los campos “técnicas cuantitativas”, “técnica cualitativa” y “herramienta analítica”. En segundo lugar, se relacionó esa técnica con el “tipo de inventario analizado”, las “políticas de inventario”, el “nivel de la cadena de suministro” y el

“contexto de aplicación”. Finalmente, se contrastaron estos elementos con los “principales hallazgos” y el “aporte a la gestión de inventarios hospitalarios”.

Este procedimiento permitió construir las tablas comparativas de aplicabilidad por tipo de problema logístico, tipo de inventario y contexto operativo. La síntesis no tuvo como propósito establecer una jerarquía normativa entre técnicas, sino describir las asociaciones reportadas por la literatura. En consecuencia, las tablas de aplicabilidad presentan relaciones documentadas en los artículos revisados, tales como el uso de modelos determinísticos en problemas de reposición estable, simulación en evaluación de políticas, modelos robustos en escenarios de incertidumbre, RFID/RTLS en problemas de trazabilidad, modelos dinámicos en inventarios perecederos e integración inventario-ruteo-localización en redes hospitalarias.

5. Síntesis de la literatura revisada

5.1 Análisis bibliométrico

El presente apartado expone los resultados del análisis bibliométrico realizado sobre los 55 artículos seleccionados en la revisión sistemática, con el fin de identificar tendencias, características y patrones de producción científica relacionados con la gestión de inventarios en la cadena de suministro hospitalaria.

A partir de los indicadores analizados, se presenta una caracterización del comportamiento investigativo del campo de estudio, considerando aspectos como la evolución temporal de las publicaciones, la distribución geográfica de la producción científica, la tipología documental, los autores con mayor productividad y las relaciones temáticas identificadas mediante el análisis de coocurrencia de palabras clave.

Estos resultados permiten comprender la dinámica y desarrollo de la investigación en el área, así como reconocer los principales enfoques y líneas temáticas abordadas en la literatura científica.

5.1.1 Distribución de la producción científica por país

La Figura 3 muestra la evolución de la producción científica relacionada con la gestión de inventarios en la cadena de suministro hospitalaria a partir de los artículos seleccionados para la presente revisión. Se evidencia una tendencia general creciente en el número de publicaciones a lo largo del tiempo, especialmente a partir del año 2019, donde la producción comienza a incrementarse de manera más sostenida. En particular, se observa un aumento progresivo desde 2019 hasta 2021, pasando de aproximadamente 4 a 7 publicaciones, seguido de una ligera caída en 2022 y un nuevo incremento significativo en 2023, donde se alcanza uno de los valores más altos del periodo analizado.

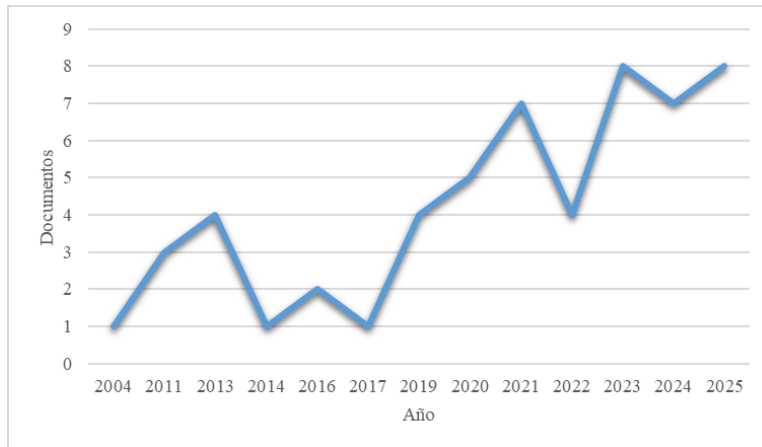
Este comportamiento refleja un creciente interés por parte de la comunidad académica en el estudio de la gestión de inventarios en el sector salud, especialmente en contextos hospitalarios donde la disponibilidad de insumos es crítica. Asimismo, el aumento en las publicaciones en los últimos años puede estar asociado a la necesidad de fortalecer las cadenas de suministro tras las interrupciones generadas por la pandemia de COVID-19, así como al auge en el uso de herramientas analíticas y modelos de optimización aplicados a la gestión de inventarios.

En los años más recientes, como 2024 y 2025, se mantiene un nivel elevado de producción científica, con valores cercanos a los máximos observados, lo que sugiere una consolidación del interés investigativo en esta temática. Este comportamiento podría indicar una etapa de madurez en el desarrollo de investigaciones, donde se continúa profundizando en técnicas, modelos y

herramientas orientadas a mejorar la eficiencia y resiliencia de la cadena de suministro hospitalaria.

Figura 3.

Cantidad de documentos publicados por año.



5.1.2 Distribución de la producción científica por país

La Figura 4 presenta la distribución de la producción científica según el país de afiliación de los autores en los artículos analizados. Los resultados evidencian que Estados Unidos y China lideran ampliamente la producción, con 8 publicaciones cada uno, consolidándose como los principales referentes en la investigación del tema. Les siguen Canadá con 4 documentos y Grecia con 3, mientras que países como Emiratos Árabes Unidos, Túnez, Qatar, Países Bajos, Italia, India, Colombia y Argentina presentan una contribución menor, con aproximadamente 1 publicación cada uno.

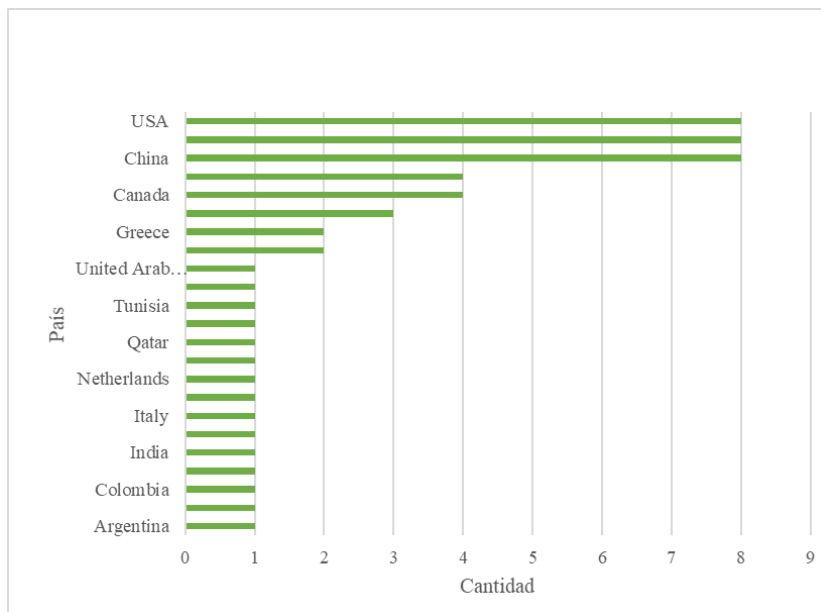
Esta distribución permite observar que la producción científica se concentra en un número limitado de países, especialmente en aquellos con mayor capacidad investigativa y desarrollo tecnológico. El liderazgo de Estados Unidos y China puede relacionarse con la fortaleza de sus sistemas académicos, la disponibilidad de recursos para investigación aplicada y el interés creciente por mejorar la eficiencia de las cadenas de suministro en salud.

En contraste, la participación de países latinoamericanos, como Colombia y Argentina, es reducida dentro del corpus analizado. Esta menor presencia puede estar asociada con limitaciones en financiación, acceso a datos hospitalarios o consolidación de líneas de investigación especializadas en logística sanitaria. Sin embargo, su aparición en la revisión muestra que el tema empieza a ganar espacio en la región y que existen oportunidades para ampliar la producción científica desde contextos con realidades operativas distintas.

En general, los resultados sugieren que la investigación sobre gestión de inventarios hospitalarios tiene una proyección internacional, pero todavía se concentra en ciertos países. Por ello, sería conveniente fortalecer estudios en regiones menos representadas, de manera que la literatura incorpore experiencias, restricciones y necesidades propias de diferentes sistemas de salud.

Figura 4.

Cantidad de documentos publicados por país.



5.1.3 *Distribución de documentos según su tipología*

La Figura 5 presenta la distribución de los documentos analizados según su tipología dentro de la revisión. Los resultados evidencian un claro predominio de los artículos científicos, que representan el 93 % del total de documentos incluidos, mientras que las revisiones corresponden únicamente al 7 %.

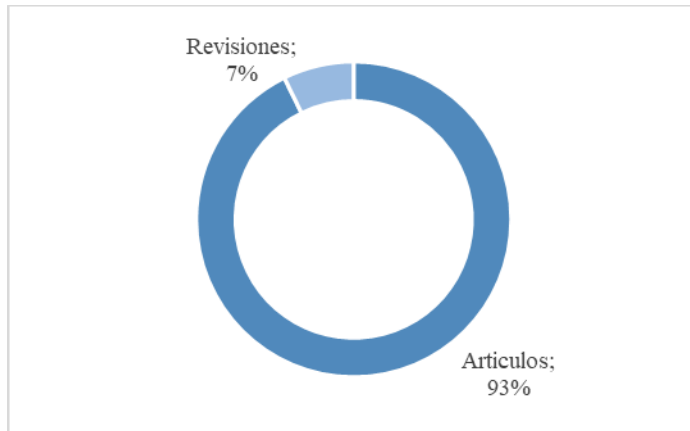
Esta marcada diferencia sugiere que la producción científica en el área se ha centrado principalmente en estudios originales, orientados al desarrollo de modelos, metodologías y aplicaciones prácticas. La alta proporción de artículos refleja un campo de investigación dinámico, en el que se privilegia la generación de nuevo conocimiento empírico y cuantitativo.

Por otro lado, la menor presencia de artículos de revisión indica que aún existe una oportunidad para consolidar el conocimiento existente mediante estudios de síntesis, como revisiones sistemáticas o metaanálisis. Este tipo de investigaciones resulta fundamental para integrar hallazgos, identificar tendencias, brechas y orientar futuras líneas de investigación.

En conjunto, estos resultados evidencian que, si bien el campo cuenta con una base sólida de estudios primarios, es necesario fortalecer la producción de revisiones que permitan estructurar y dar mayor coherencia al conocimiento acumulado, facilitando su aplicación en contextos académicos y profesionales.

Figura 5.

Cantidad de documentos según su tipo

**5.1.4 Autores más productivos**

La Figura 6 presenta la distribución de los autores más productivos dentro del conjunto de artículos analizados. Los resultados evidencian que Goodarzian F lidera la producción científica con un total de 3 publicaciones, posicionándose como el autor con mayor contribución en el área de estudio.

Le sigue un grupo de autores con una participación homogénea, cada uno con 2 publicaciones, entre los que se encuentran Tavakkoli-Moghaddam R, Masmoudi M, Masmoudi F, Luo M, Ghasemi P, Elarbi M, Bialas C, Ayadi O y Ali I. Esta distribución muestra que, aunque existe un autor destacado, la producción científica se encuentra relativamente dispersa entre varios investigadores con niveles de contribución similares.

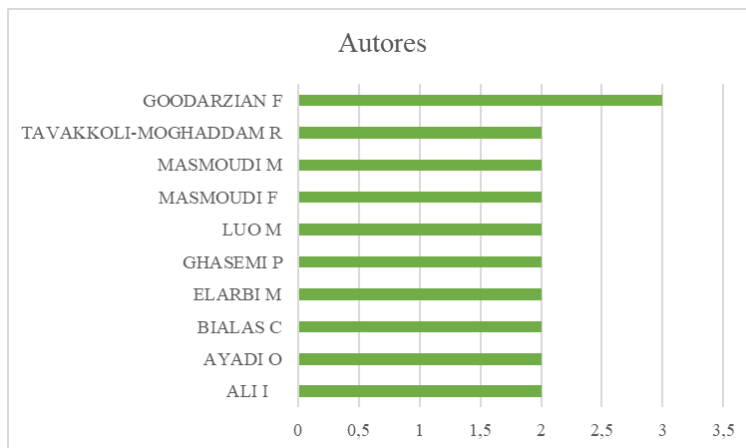
Este comportamiento sugiere que el campo de estudio no está altamente concentrado en unos pocos autores dominantes, sino que presenta una participación más equilibrada, lo que puede interpretarse como un área en crecimiento con múltiples grupos de investigación activos.

Asimismo, la diversidad de autores indica la existencia de colaboraciones académicas y redes de investigación distribuidas geográficamente.

En conjunto, los resultados reflejan una estructura de autoría relativamente descentralizada, donde si bien hay líderes en producción, también existe una base amplia de investigadores que contribuyen de manera constante al desarrollo del conocimiento en el área. Esto favorece la diversidad de enfoques metodológicos y aplicaciones dentro del campo de estudio.

Figura 6.

Autores más productivos



5.1.5 Análisis de coocurrencia

La Figura 7 presenta el análisis de coocurrencia de palabras clave, utilizado para reconocer las principales líneas temáticas del campo a partir de la relación entre los términos más frecuentes en los artículos revisados.

En el mapa se identifican cuatro clústeres principales:

En primer lugar, el clúster azul agrupa términos como “supply chains”, “supply chain network design”, “inventory control” y “costs”. Esta agrupación muestra una línea orientada al diseño y optimización de la cadena de suministro, con énfasis en modelos cuantitativos, control de

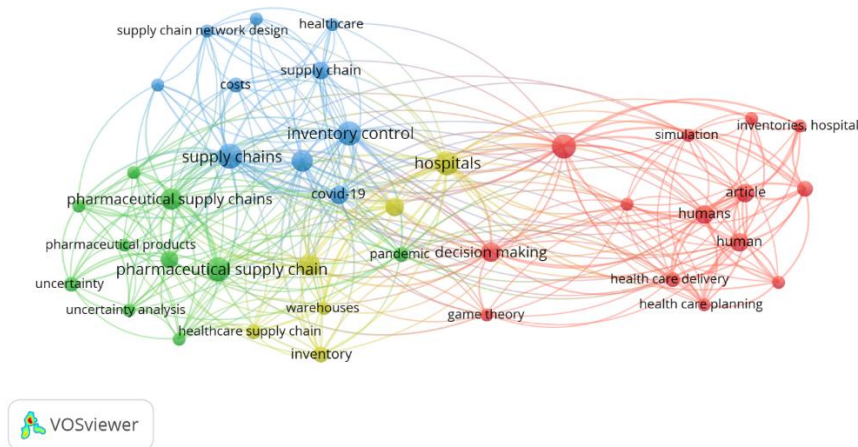
inventarios y eficiencia operativa. En este grupo se ubican estudios que buscan mejorar el desempeño logístico mediante herramientas analíticas.

En segundo lugar, el clúster verde reúne conceptos como “pharmaceutical supply chain”, “pharmaceutical products”, “uncertainty” y “uncertainty analysis”. Esta relación permite observar una línea enfocada en la cadena de suministro farmacéutica bajo condiciones de incertidumbre, donde la variabilidad de la demanda, la disponibilidad de medicamentos y la gestión del riesgo adquieren especial importancia.

En tercer lugar, el clúster rojo incluye términos como “health care delivery”, “health care planning”, “humans” y “simulation”. Estos conceptos se relacionan con la aplicación de modelos en la prestación de servicios de salud, especialmente en temas de planificación, simulación de procesos y apoyo a la toma de decisiones en contextos hospitalarios.

En cuarto lugar, el clúster amarillo se organiza alrededor de palabras como “hospitals”, “inventory”, “warehouses”, “healthcare supply chain” y “pandemic decision making”. Este grupo se asocia con la gestión operativa de inventarios en hospitales, particularmente en escenarios de alta complejidad, como emergencias sanitarias o situaciones de crisis. Además, funciona como un punto de conexión entre los enfoques logísticos, farmacéuticos y asistenciales.

También se observan nodos con alta conexión, como “hospitals”, “inventory” y “covid-19”, los cuales articulan varios clústeres dentro del mapa. Esto indica que el entorno hospitalario y la pandemia han tenido un papel importante en la evolución reciente del tema, al impulsar investigaciones más aplicadas y orientadas a la gestión de cadenas de suministro en condiciones de incertidumbre.

Figura 7.*Análisis de coocurrencia en Vosviewer***5.2 Criterios de clasificación del corpus**

La síntesis de la literatura revisada se estructuró a partir de una clasificación analítica del corpus final de 55 artículos, con el propósito de reforzar la coherencia interna de los resultados y ofrecer una lectura ordenada de la evidencia. Esta organización parte de la observación de que los estudios seleccionados no responden a un único plano conceptual, sino a distintas relaciones analíticas dentro del campo: algunos se concentran en técnicas y enfoques metodológicos, otros en problemas o dominios de aplicación y otros en dimensiones de gestión, evaluación e implementación.

En consecuencia, la literatura fue organizada en tres relaciones analíticas complementarias. La primera relación, asociada a técnicas y enfoques metodológicos, concentra 33 artículos del corpus y reúne cinco categorías: modelos determinísticos, modelos estocásticos y resiliencia, lógica difusa, simulación e innovaciones tecnológicas. La segunda relación, centrada en problemas

o dominios de aplicación, reúne 9 artículos distribuidos en optimización de redes y rutas e inventarios de productos perecederos. La tercera relación, orientada a gestión y evaluación, concentra 13 artículos sobre métricas, desempeño, reorganización logística e implementación.

Esta clasificación no modifica el contenido sustantivo de los estudios incluidos, pero sí mejora el rigor de la síntesis, al diferenciar entre artículos que desarrollan herramientas analíticas, artículos que las aplican a problemas específicos y artículos que examinan el desempeño o la adopción organizacional de dichas soluciones. En este sentido, la Tabla 4 resume la estructura conceptual de la clasificación y la Tabla 5 presenta la cobertura del corpus por relación analítica, categoría, número de artículos y función analítica.

Tabla 4.

Síntesis de enfoques metodológicos y autores representativos en la literatura revisada.

| Relación analítica | Categoría | Naturaleza analítica | Descripción | Enfoques / técnicas principales | Autores representativos |
|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|--|--|---|
| Técnicas y enfoques metodológicos | Modelos determinísticos | Técnica / enfoque | Modelos que asumen condiciones de certeza para la toma de decisiones en inventarios. | Programación lineal mixta (MILP), diseño de redes, gestión de caducidad, stock de seguridad. | Fatemi et al. (2022; Kees et al., 2019; Wang & Lee, 2013) |
| Técnicas y enfoques metodológicos | Modelos estocásticos y resiliencia | Técnica / enfoque | Enfoques que incorporan incertidumbre en la demanda y el suministro, especialmente en contextos de crisis. | Cadenas de Markov, optimización robusta, programación estocástica, análisis post-COVID-19. | Dekhoda et al. (2025; Rajabi et al., 2024; Shourabizadeh et al., 2023) |
| Técnicas y enfoques metodológicos | Lógica difusa | Técnica / enfoque | Herramientas para modelar ambigüedad y toma de decisiones con información imprecisa. | Sistemas difusos, optimización multiobjetivo, programación por metas difusa. | Dolatabad et al. (2022; Goodarzian et al., 2020; Zandkarimkhani et al., 2020) |

| Relación analítica | Categoría | Naturaleza analítica | Descripción | Enfoques / técnicas principales | Autores representativos |
|------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|---|--|--|
| Técnicas y enfoques metodológicos | Simulación | Técnica / enfoque | Técnicas que permiten replicar sistemas complejos antes de su implementación real. | Dinámica de sistemas, simulación de eventos discretos, análisis de políticas JIT y ROP. | (Alidoost et al., 2025; Qin & Lan, 2025; Zhu et al., 2025) |
| Técnicas y enfoques metodológicos | Innovaciones tecnológicas | Técnica / enfoque | Uso de tecnologías emergentes para mejorar la gestión de inventarios y la visibilidad de la cadena. | Inteligencia artificial, Big Data, IoT, RFID, Machine Learning, DSS, ERP. | Bilal et al. (2025; L. Castro et al., 2013; Zhou et al., 2025a) |
| Problemas o dominios de aplicación | Optimización de redes y rutas | Problema / dominio | Modelos aplicados a la localización, distribución y coordinación logística en redes hospitalarias. | IRP, LRP, colaboración logística, transbordos, inventory pooling. | Hajipour et al. (2021; X. Shang et al., 2022; Timajchi et al., 2019) |
| Problemas o dominios de aplicación | Inventarios de productos perecederos | Problema / dominio | Estrategias específicas para productos con vida útil limitada y alta sensibilidad clínica. | FIFO, FEFO, gestión de caducidad, control de frescura, transbordo lateral. | Abbaspour et al. (2020; Gebicki et al., 2014; Mansur et al., 2025) |
| Gestión y evaluación | Gestión estratégica y métricas | Gestión / evaluación | Enfoques que vinculan modelos técnicos con decisiones organizacionales, indicadores y desempeño. | KPIs, metodologías Lean, outsourcing, desempeño logístico, evaluación de implementación. | Moons et al. (2019; Schouten et al., 2023; Vanbrabant et al., 2023) |

5.3 Relación 1. Técnicas y enfoques metodológicos

Las categorías reunidas en esta primera relación analítica agrupan 33 artículos cuyo aporte principal radica en el desarrollo, aplicación o adaptación de herramientas analíticas para la gestión de inventarios hospitalarios. En conjunto, estos trabajos muestran que la literatura ha privilegiado modelos cuantitativos capaces de representar decisiones de reposición, diseño de red,

incertidumbre, visibilidad, trazabilidad y automatización, con distintos niveles de complejidad y requerimientos de información.

5.3.1 Modelos determinísticos

Dentro del corpus revisado, los modelos determinísticos reúnen estudios orientados a problemas de reposición, tamaño de lote, asignación de inventario, diseño de redes y coordinación de abastecimiento bajo condiciones de relativa certeza. En esta categoría se identificaron nueve artículos: Fatemi et al. (2022), Elarbi et al. (2021), Guerrero et al. (2013), Wang & Lee (2013), Baboli et al. (2011), Wu & Luo (2024), Kees et al. (2019), Wu et al. (2022) y Liao & Chang (2011). En conjunto, estos trabajos emplean formulaciones exactas, programación lineal o estructuras de optimización analítica para representar restricciones de capacidad, costos, lead time, competencia de precios y configuración de red.

De manera descriptiva, la literatura reporta que estos enfoques se han aplicado en farmacias hospitalarias, cadenas farmacéuticas multinivel, hospitales con restricciones de almacenamiento y contextos regulados por mecanismos de reabastecimiento o competencia de mercado. Fatemi et al. (2022) incorpora congestión y caducidad; Elarbi et al. (2021) y Baboli et al. (2011) reportan centralización y coordinación de reabastecimiento; Guerrero et al. (2013) y Wang & Lee (2013) enfatizan restricciones operativas y de capacidad; Kees et al. (2019) integra flujos físicos y económicos en un hospital público; y Wu et al. (2022) y Liao & Chang (2011) vinculan decisiones de precio, pedido y contratación con la disponibilidad de medicamentos.

5.3.2 Modelos estocásticos y resiliencia

La categoría de modelos estocásticos y resiliencia agrupa diez artículos que incorporan explícitamente incertidumbre en la demanda, en el abastecimiento o en la disponibilidad de capacidad, especialmente en contextos de crisis sanitarias, interrupciones de suministro o alta

variabilidad del consumo. En esta categoría se ubican Dehkhoda et al. (2025), Greene et al. (2024), Rajabi et al. (2024), Shourabizadeh et al. (2023), Pathy & Rahimian (2023), Rehman et al. (2023), Goodarzian, Taleizadeh, et al. (2021), Abedrabboh et al. (2021), Friday et al. (2021) y Safaei & Zarrinpoor (2024). Los estudios de este bloque emplean optimización robusta, programación estocástica, teoría de juegos, métricas de resiliencia y estructuras de decisión en dos etapas para anticipar o mitigar disrupciones.

La evidencia reportada en esta categoría se concentra en problemas como pre-posicionamiento de inventarios, respuesta a pandemias, almacenamiento precautorio, uso de proveedores secundarios, priorización de commodities críticos y coordinación descentralizada entre hospitales. Dehkhoda et al. (2025) y Greene et al. (2024) describen el papel de la visibilidad y la criticidad de los insumos; Rajabi et al. (2024), Pathy & Rahimian (2023) y Goodarzian, Taleizadeh, et al. (2021) modelan redes farmacéuticas resilientes; Shourabizadeh et al. (2023) incorpora proveedores confiables ante escasez; Abedrabboh et al. (2021) usa teoría de juegos para EPP; Friday et al. (2021) enfatiza la colaboración; Rehman et al. (2023) integra políticas de inventario con variables epidemiológicas; y Safaei & Zarrinpoor (2024) incorpora incertidumbre financiera y ambiental en la red farmacéutica.

5.3.3 Lógica difusa

La categoría de lógica difusa reúne tres artículos centrados en ambigüedad, información incompleta y conflictos entre objetivos, particularmente en contextos donde la decisión no depende exclusivamente de datos observados, sino también de juicio experto o restricciones blandas. En esta categoría se identificaron los estudios de Dolatabad et al. (2022), Zandkarimkhani et al. (2020) y Goodarzian et al. (2020), los cuales emplean programación difusa, Fuzzy DEMATEL, programación de metas y modelos robustos para representar múltiples criterios de decisión.

Desde una perspectiva descriptiva, los artículos de esta categoría muestran aplicaciones en identificación de indicadores clave, diseño de redes de suministro, asignación de recursos y decisiones bajo perecibilidad o incertidumbre presupuestaria. Dolatabad et al. (2022) analiza KPIs del sector salud mediante mapeo cognitivo difuso; Zandkarimkhani et al. (2020) diseña una red farmacéutica perecedera bajo restricciones probabilísticas y lógica difusa; y Goodarzian et al. (2020) compara metaheurísticas en un modelo farmacéutico robusto, resaltando la utilidad de estos enfoques cuando la literatura necesita combinar objetivos económicos, logísticos y clínicos en entornos ambiguos.

5.3.4 Simulación

La simulación constituye otra de las categorías metodológicas identificadas en el corpus y reúne cinco artículos que emplean Dinámica de Sistemas, Simulación de Eventos Discretos o enfoques híbridos para representar el comportamiento dinámico de sistemas hospitalarios y cadenas farmacéuticas. En esta categoría se identificaron Zhu et al. (2025), Qin & Lan (2025), Alidoost et al. (2025), Goodarzian et al. (2024a) y Chung & Kwon (2016). Estos estudios modelan escenarios donde la evolución temporal del sistema, la interacción entre inventario y transporte o la sensibilidad de la demanda resultan determinantes para la decisión logística.

Los artículos revisados muestran que la simulación ha sido aplicada para comparar políticas como JIT y ROP, analizar resiliencia regional, optimizar cadenas de frío, evaluar redes farmacéuticas durante COVID-19 y modelar productos perecederos bajo competencia. Zhu et al. (2025) identifica el inventario como soporte de la capacidad de tolerancia; Qin & Lan (2025) optimiza ciclos de adquisición y stock de seguridad; Alidoost et al. (2025) resume el uso de la simulación en cadenas con productos perecederos; Goodarzin et al. (2024) integra Big Data con

heurística y simulación; y Chung & Kwon (2016) muestra el peso de la perecederidad en el comportamiento dinámico de la cadena farmacéutica.

5.3.5 Innovaciones tecnológicas

Las innovaciones tecnológicas agrupan seis artículos centrados en herramientas digitales para mejorar visibilidad, analítica, trazabilidad, automatización y soporte a la decisión. En esta categoría se identifican Zhou et al. (2025a), Bilal et al. (2025), Kochakkashani et al. (2024), Bialas et al. (2020), X. Chen et al. (2022) y L. Castro et al. (2013). En conjunto, estos estudios integran inteligencia artificial, aprendizaje no supervisado, Big Data, IoT, RFID, RTLS, ERP y arquitecturas blockchain como parte de la gestión de inventarios hospitalarios.

En términos de aplicación, Bilal et al. (2025) reporta mejoras en pronóstico farmacéutico mediante variables contextuales; Kochakkashani et al. (2024) usa aprendizaje no supervisado para agrupar medicamentos bajo incertidumbre; Bialas et al. (2020) muestra el valor de la segmentación multicriterio en farmacias hospitalarias; Zhou et al. (2025a) y L. Castro et al. (2013) documentan el uso de RFID y trazabilidad en activos e insumos; y X. Chen et al. (2022) propone una arquitectura IoT-Blockchain para reforzar la resiliencia post-pandemia. En conjunto, estos estudios muestran que la disponibilidad tecnológica depende tanto del potencial analítico de las herramientas como de la calidad del dato y de la coordinación organizacional.

5.4 Relación 2. Problemas o dominios de aplicación

La segunda relación analítica reúne nueve artículos cuya organización no depende principalmente de la herramienta utilizada, sino del problema logístico específico al que se dirige la aplicación. Esta relación integra dos dominios del corpus donde convergen múltiples técnicas bajo restricciones, objetivos y criterios de desempeño propios del entorno hospitalario: la optimización de redes y rutas y la gestión de inventarios de productos perecederos.

5.4.1 Optimización de redes y rutas

La optimización de redes y rutas constituye una categoría orientada a problemas donde convergen decisiones de localización, asignación, inventario, transporte y colaboración entre nodos. En esta categoría se identifican cuatro artículos: X. Shang et al. (2022), Hajipour et al. (2021), Timajchi et al. (2019) y Alizadeh et al. (2020). En estos estudios, la pregunta central ya no es solo cuánto almacenar, sino también dónde ubicar inventario, cómo asignarlo entre nodos y cómo distribuirlo de manera eficiente bajo restricciones de tiempo, riesgo, trazabilidad o capacidad.

La literatura de esta categoría reporta aplicaciones en redes farmacéuticas, logística humanitaria, distribución de productos peligrosos o perecederos y sistemas con logística inversa. X. Shang et al. (2022) presenta una formulación robusta de localización-inventario-ruteo para salud; Hajipour et al. (2021) incorpora trazabilidad y monitoreo de vida útil; Timajchi et al. (2019) integra deterioro, riesgo de accidente y transbordo; y Alizadeh et al. (2020) aborda diseño de red con riesgo biológico y flujos directos e inversos. En conjunto, estos trabajos muestran la integración creciente entre inventario, transporte y estructura de red en la literatura hospitalaria.

5.4.2 Inventarios de productos perecederos

Los inventarios de productos perecederos conforman una categoría de aplicación en la que la edad del producto, la frescura y la pérdida de valor terapéutico se convierten en variables centrales del análisis. En esta categoría se distinguen principalmente los trabajos de Mansur et al. (2025), Elarbi et al. (2024a), Abbaspour et al. (2020), Gebicki et al. (2014) y Timajchi et al. (2019), enfocados en sangre, plaquetas, medicamentos con vencimiento y productos farmacéuticos sujetos a deterioro o redistribución interhospitalaria.

De manera descriptiva, los artículos de esta categoría reportan aplicaciones en bancos de sangre, redes regionales y cadenas farmacéuticas con caducidad. Mansur et al. (2025) modela sangre con transbordo lateral; Abbaspour et al. (2020) optimiza plaquetas bajo incertidumbre; Gebicki et al. (2014) evalúa políticas hospitalarias que integran criticidad y caducidad; Elarbi et al. (2024) estudia transbordos y entregas escalonadas en hospitales; y Timajchi et al. (2019) muestra que el deterioro y el riesgo de accidente modifican la decisión de ruteo e inventario. En esta categoría, la literatura muestra que el inventario precedero no se describe solo por cantidad, sino también por temporalidad, vida útil y criticidad clínica.

5.5 Relación 3. Gestión y evaluación

La tercera relación analítica reúne trece artículos cuyo centro no es una técnica específica ni un problema logístico puntual, sino la manera como la literatura mide, interpreta y evalúa el desempeño de la gestión hospitalaria. En esta relación se ubican estudios sobre indicadores, reorganización logística, prácticas Lean, outsourcing, preparación institucional, revisiones estructuradas e implementación, lo que permite conectar los desarrollos técnicos con sus condiciones reales de adopción.

5.5.1 Gestión estratégica y métricas

La categoría de gestión estratégica y métricas reúne estudios centrados en desempeño logístico, indicadores, rediseño organizacional, preparación tecnológica y evaluación de la implementación. En esta relación se identifican Schouten et al. (2023), Vanbrabant et al. (2023), Bialas et al. (2023a), E. Chen et al. (2021), C. Castro et al. (2020), Moons et al. (2019), Franco & Alfonso-Lizarazo (2017), Leung et al. (2016), Bailey et al. (2013), Xu et al. (2011), Nicholson et al. (2004), Saha & Ray (2019) y El Mokrini et al. (2022). A diferencia de las categorías anteriores,

aquí el foco no recae en un modelo matemático particular, sino en la forma como la literatura describe el desempeño, la adopción y la evaluación de la cadena de suministro hospitalaria.

Los artículos de esta categoría reportan indicadores de costo, nivel de servicio, lead time, rotación, desempeño quirúrgico, precisión del dato, colaboración y preparación institucional. Moons et al. (2019) y Schouten et al. (2023) sistematizan métricas de desempeño; Vanbrabant et al. (2023), Franco & Alfonso-Lizarazo (2017) y Saha & Ray (2019) ofrecen revisiones estructuradas del campo; C. Castro et al. (2020) y Bialas et al. (2023a) reportan reorganización logística y adopción tecnológica; E. Chen et al. (2021) examina la colaboración ante escasez; Leung et al. (2016) evidencia límites de políticas tradicionales en África subsahariana; Bailey et al. (2013) y Xu et al. (2011) muestran soluciones apoyadas en sistemas de información; Nicholson et al. (2004) analiza outsourcing; y El Mokrini et al. (2022) cuantifica decisiones de pooling en un mercado emergente.

5.6 Integración descriptiva de la literatura revisada

5.6.1 Distribución del corpus por relación analítica y categórica

La lectura conjunta del corpus confirma que la mayor proporción de la evidencia se concentra en técnicas y enfoques metodológicos, con 33 de los 55 artículos analizados (60,0 %). Los problemas o dominios de aplicación reúnen 9 estudios (16,4 %), mientras que la relación de gestión y evaluación concentra 13 artículos (23,6 %). Esta distribución refuerza el carácter descriptivo de la síntesis y permite observar cómo se organiza la evidencia según la función analítica que cumple cada categoría dentro del campo.

Tabla 5.

Distribución del corpus por relación analítica, categoría, número de artículos y función analítica.

| Relación analítica | Categoría | n (%) | Función analítica | Tipo de evidencia predominante | Autores representativos |
|------------------------------------|--------------------------------------|--------------|--|--|---|
| Técnicas y enfoques metodológicos | Modelos determinísticos | 9 (16,4) | Estructuración de decisiones bajo certeza | Modelación exacta y coordinación operativa | (Fatemi et al., 2022; Guerrero et al., 2013) |
| Técnicas y enfoques metodológicos | Modelos estocásticos y resiliencia | 10 (18,2) | Representación de incertidumbre y respuesta a crisis | Optimización robusta, teoría de juegos y resiliencia | (Dehkhoda et al., 2025; Rajabi et al., 2024) |
| Técnicas y enfoques metodológicos | Lógica difusa | 3 (5,5) | Modelación de ambigüedad y criterios múltiples | Programación difusa y evaluación multicriterio | (Dolatabad et al., 2022; Zandkarimkhani et al., 2020) |
| Técnicas y enfoques metodológicos | Simulación | 5 (9,1) | Representación dinámica de escenarios | Dinámica de Sistemas y eventos discretos | (Qin & Lan, 2025; Zhu et al., 2025) |
| Técnicas y enfoques metodológicos | Innovaciones tecnológicas | 6 (10,9) | Trazabilidad, analítica y soporte a la decisión | IA, IoT, RFID, ERP, DSS y blockchain | (Bilal et al., 2025; Zhou et al., 2025a) |
| Problemas o dominios de aplicación | Optimización de redes y rutas | 4 (7,3) | Integración de localización, inventario y transporte | IRP, LIRP, pooling y transbordo | (Hajipour et al., 2021; X. Shang et al., 2022) |
| Problemas o dominios de aplicación | Inventarios de productos perecederos | 5 (9,1) | Gestión bajo vida útil limitada | FIFO, FEFO, fresca y redistribución | (Abbaspour et al., 2020; Mansur et al., 2025) |
| Gestión y evaluación | Gestión estratégica y métricas | 13 (23,6) | Medición del desempeño e implementación | KPIs, Lean, outsourcing y evaluación organizacional | (Moons et al., 2019; Vanbrabant et al., 2023) |

5.6.2 Técnicas y problemas reportados por categoría

Al reorganizar los estudios por categoría se observa que cada bloque temático articula un conjunto relativamente estable de herramientas, problemas abordados y decisiones analíticas. Mientras los modelos determinísticos y estocásticos se asocian con decisiones de reposición, coordinación y resiliencia, la lógica difusa y la simulación aparecen en contextos de ambigüedad, evaluación de escenarios y diseño de red. La Tabla 6 resume esta relación entre categoría, técnicas predominantes y problemas reportados.

Tabla 6.

Técnicas y problemas reportados por categoría en la literatura revisada.

| Categoría | Técnicas / enfoques predominantes | Problemas reportados | Autores representativos |
|------------------------------------|--|---|--|
| Modelos determinísticos | MILP, programación lineal, modelos exactos | Reposición, lotificación, capacidad, centralización | (Elarbi et al., 2021; Fatemi et al., 2022; Guerrero et al., 2013) |
| Modelos estocásticos y resiliencia | Optimización robusta, programación estocástica, teoría de juegos | Pandemias, disrupciones, pre-posicionamiento y escasez | (Dekhoda et al., 2025; Greene et al., 2024; Rajabi et al., 2024) |
| Lógica difusa | Programación difusa, Fuzzy DEMATEL, modelos híbridos | Ambigüedad, restricciones blandas, objetivos en conflicto | (Dolatabad et al., 2022; Goodarzian et al., 2020; Zandkarimkhani et al., 2020) |
| Simulación | Dinámica de Sistemas, DES, modelos híbridos | Comparación de políticas, resiliencia, escenarios | (Qin & Lan, 2025; Rehman et al., 2023; Zhu et al., 2025) |
| Innovaciones tecnológicas | IA, Big Data, IoT, RFID, DSS, ERP | Pronóstico, visibilidad, automatización, sincronización clínica-logística | (Bialas et al., 2020; Bilal et al., 2025; Zhou et al., 2025a) |
| Optimización de redes y rutas | IRP, LIRP, pooling, transbordo | Localización, distribución, coordinación multinivel | (El Mokrini et al., 2022; X. Shang et al., 2022; Timajchi et al., 2019) |

| Categoría | Técnicas / enfoques predominantes | Problemas reportados | Autores representativos |
|--------------------------------|---|--|--|
| Inventarios perecederos | Modelos de deterioro, MDP, reglas de rotación | Frescura, vida útil, desperdicio, redistribución | (Abbaspour et al., 2020; Gebicki et al., 2014; Mansur et al., 2025) |
| Gestión Estratégica y métricas | KPIs, Lean, outsourcing, revisiones estructuradas | Desempeño, implementación, preparación institucional | (Moons et al., 2019; Schouten et al., 2023; Vanbrabant et al., 2023) |

5.6.3 Tipos de inventarios, contextos y políticas reportadas

La revisión también muestra que la evidencia cambia según el inventario gestionado y el entorno operativo donde se aplica. Medicamentos, sangre, vacunas, EPP y activos médicos presentan requerimientos logísticos diferenciados, al igual que hospitales generales, farmacias, bancos de sangre, redes farmacéuticas y escenarios de crisis. La Tabla 7 sintetiza esta relación entre tipos de inventario, contextos y políticas reportadas, incorporando únicamente los autores más representativos.

Tabla 7.

Tipos de inventario, contextos y políticas reportadas en la literatura.

| Tipo de inventario | Contextos reportados | Políticas / enfoques reportados | Autores representativos |
|---------------------------|---|---|---|
| Medicamentos generales | Farmacias hospitalarias, hospitales generales | Revisión periódica, ERP, segmentación ABC-XYZ-VED | (Bialas et al., 2020; Franco & Alfonso-Lizarazo, 2017; Guerrero et al., 2013) |
| Medicamentos perecederos | Redes farmacéuticas, cadenas con caducidad | Modelos dinámicos, deterioro, reglas KKT | (Chung & Kwon, 2016; Elarbi et al., 2024a; Zandkarimkhani et al., 2020) |
| Sangre y hemoderivados | Bancos de sangre y redes regionales | MDP, transbordo lateral, redistribución | (Abbaspour et al., 2020; Mansur et al., 2025) |

| | | | |
|------------------------|---|---|--|
| Vacunas | Cadena de frío y escenarios de alta incertidumbre | Dinámica de Sistemas, planificación bajo restricciones logísticas | (Qin & Lan, 2025) |
| EPP e insumos críticos | Pandemias y emergencias | Modelos epidemiológicos, resiliencia, almacenamiento precautorio | (Abedrabboh et al., 2021; Dekhoda et al., 2025; Greene et al., 2024) |
| Activos médicos | Hospitales con alta movilidad de equipos | RFID, RTLS, monitoreo en tiempo real | (Bailey et al., 2013; L. Castro et al., 2013; Hajipour et al., 2021) |

5.6.4 *Herramientas computacionales y sistemas de análisis reportados*

Además de las técnicas de modelado matemático, el corpus revisado permitió identificar un conjunto amplio de herramientas computacionales, plataformas de optimización, lenguajes de programación, sistemas de información y tecnologías de soporte a la decisión utilizadas en la gestión de inventarios hospitalarios. Esta revisión permite diferenciar entre la técnica metodológica empleada y el medio utilizado para implementarla, resolverla o soportarla. En los artículos analizados se reportan plataformas de optimización como GAMS, LINGO, CPLEX, Gurobi, BARON, OPL y OpenSolver; lenguajes y entornos de análisis como Python, R, Java, MATLAB, Maple y Excel; herramientas de simulación como Dinámica de Sistemas, simulación de eventos discretos, Vensim y modelos computacionales; sistemas de información como ERP, DSS, MMIS y MSIS; y tecnologías de trazabilidad como RFID, RTLS, IoT, blockchain, sensores y códigos de barras. Esta consolidación amplía la respuesta a la pregunta de investigación, debido a que la literatura revisada no solo reporta técnicas de análisis, sino también los recursos computacionales y sistemas que permiten aplicarlas en contextos hospitalarios.

Tabla 8.*Herramientas computacionales y sistemas de análisis reportados en el corpus.*

| Grupo de herramienta | Herramientas reportadas | Uso reportado | Autores representativos |
|--|---|--|--|
| Plataformas de optimización | GAMS, LINGO, CPLEX, Gurobi, BARON, OPL, OpenSolver | Resolución de modelos MILP, MINLP, optimización robusta, programación estocástica y modelos multiobjetivo | (Elarbi et al., 2024a; Mansur et al., 2025; Rajabi et al., 2024; X. Shang et al., 2022; Zandkarimkhani et al., 2020) |
| Hojas de cálculo y optimización aplicada | Microsoft Excel, Excel 365, Excel 2016, OpenSolver | Modelación de inventarios, análisis de escenarios, solución de modelos de transbordo y cálculo de indicadores | (Abbaspour et al., 2020; Mansur et al., 2025) |
| Lenguajes de programación y análisis | Python, R, Java, MATLAB, Maple | Pronóstico, simulación, procesamiento de datos, algoritmos de optimización y análisis estadístico | (Baboli et al., 2011; Bilal et al., 2025; Dehkhoda et al., 2025; Guerrero et al., 2013; Neve & Schmidt, 2021) |
| Software de simulación y dinámica de sistemas | Dinámica de Sistemas, DES, modelos de simulación, Vensim, Enterprise Dynamics | Evaluación de políticas, resiliencia, escenarios de crisis, comportamiento dinámico de cadenas farmacéuticas | (Alidoost et al., 2025; Qin & Lan, 2025; Rehman et al., 2023; Zhu et al., 2025) |
| Sistemas de información y soporte a decisiones | ERP, DSS, MMIS, MSIS, portales web integrados | Automatización de reposición, segmentación de inventario, integración de demanda e inventario, apoyo a decisiones logísticas | (Bialas et al., 2020; Moons et al., 2019; X. Shang et al., 2022; Xu et al., 2011) |
| Tecnologías de trazabilidad y visibilidad | RFID, RTLS, códigos de barras, sensores IoT | Localización de activos, visibilidad de inventario, monitoreo en tiempo real y reducción de errores de registro | (Bailey et al., 2013; L. Castro et al., 2013; Hajipour et al., 2021; Zhou et al., 2025) |
| Tecnologías digitales emergentes | IoT, blockchain, contratos inteligentes, Big Data Analytics, Machine Learning | Resiliencia digital, trazabilidad farmacéutica, pronóstico de demanda y análisis contextual | (Bilal et al., 2025; X. Chen et al., 2022; Goodarzian et al., 2024b; |

| Grupo de herramienta | Herramientas reportadas | Uso reportado | Autores representativos |
|-----------------------------|--------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| | | | Kochakkashani et al., 2024) |

La Tabla 8 permite observar que la utilidad práctica de las técnicas no depende únicamente del modelo formulado, sino también de la herramienta disponible para implementarlo. Por ejemplo, la optimización de redes e inventarios suele apoyarse en plataformas como GAMS, LINGO, CPLEX u OpenSolver; la simulación de escenarios se desarrolla mediante herramientas de Dinámica de Sistemas o simulación de eventos discretos; y los problemas de trazabilidad requieren sistemas como RFID, RTLS, ERP, DSS o IoT. Por tanto, incorporar esta dimensión técnica fortalece el cumplimiento del tercer objetivo específico, al mostrar no solo qué métodos se reportan en la literatura, sino también qué instrumentos computacionales permiten aplicarlos en la toma de decisiones hospitalarias.

5.6.5 Síntesis de los resultados de desempeño reportados

Con el fin de fortalecer la síntesis de los resultados obtenidos, se organizaron los hallazgos de desempeño reportados por los estudios incluidos, especialmente aquellos relacionados con reducción de costos, mejora del nivel de servicio, disminución de desperdicio, reducción de roturas de stock, aumento de disponibilidad, optimización de inventarios y mejora en la precisión de la información. Esta revisión no recalcula indicadores ni realiza una evaluación estadística propia; por tanto, los valores presentados deben entenderse como resultados representativos reportados por estudios específicos dentro de cada grupo de técnica o problema logístico. De esta manera, el análisis deja de limitarse a describir temas abordados o frecuencias de investigación y pasa a sintetizar la efectividad reportada de las técnicas según el problema logístico y el contexto hospitalario analizado.

Tabla 9.*Resultados de desempeño reportados por la literatura revisada*

| Estudios asociados | Técnica / herramienta | Resultado representativo reportado | Métrica asociada |
|--|--|---|--|
| (Gebicki et al., 2014; Mansur et al., 2025) | MILP, OpenSolver y Excel 365 | Beneficio de 4,49 mil millones de IDR; el transbordo lateral equilibra inventarios, aunque en exceso eleva costos | Beneficio, costo, disponibilidad y emisiones |
| (Elarbi et al., 2024; Timajchi et al., 2019) | Programación estocástica de dos etapas, LINGO 20.0 | Ganancia promedio de 5,6 % en costos con transbordos y 32,4 % al combinar transbordos con entregas escalonadas | Costo total y efecto látigo |
| (Pathy & Rahimian, 2023; Rajabi et al., 2024; X. Shang et al., 2022; Shourabizadeh et al., 2023) | MILP robusto, CPLEX 12.10 | Ahorro de hasta 12,6 % frente a pedidos de emergencia y 14,5 % en el caso COVID-19 mediante ajuste de red | Costo y disponibilidad |
| (Abbaspour et al., 2020; Chung & Kwon, 2016) | MDP, simulación, Excel y Minitab | Reducción del desperdicio a menos del 1 % anual; más del 90 % de la demanda se satisface con productos de máxima frescura | Desperdicio y frescura |
| (Elarbi et al., 2021; Fatemi et al., 2022) | Programación estocástica y MINLP, LINGO 18.0 | Centralización reduce costos en 6,74 % promedio; política (R,Q) optimizada es 15 % más efectiva que (s,S) no optimizada | Costo y política de reposición |
| (Bialas et al., 2023; C. Castro et al., 2020; Moons et al., 2019) | Reorganización logística y parametrización de sistema de información | Reducción del 30 % en roturas de stock y disminución del 66 % en exceso de cajas almacenadas | Stockout e inventario excedente |
| (Bialas et al., 2020; Xu et al., 2011; Zhou et al., 2025) | ERP y segmentación ABC-XYZ | Mejoras entre 15 % y 25 % en KPIs; nivel de servicio de 100 % en artículos vitales | Rotación, cobertura, stock muerto y servicio |
| (Guerrero et al., 2013; Wang & Lee, 2013) | Cadenas de Markov y Java | Reducción de 44,9 % en el valor del stock disponible, manteniendo nivel de servicio superior al 92 % | Valor de inventario y nivel de servicio |
| (Baboli et al., 2011) | Optimización conjunta y MATLAB | Ahorro del 24 % en costos totales frente al modelo descentralizado | Costo total |

| Estudios asociados | Técnica / herramienta | Resultado representativo reportado | Métrica asociada |
|--|--------------------------------|---|------------------------|
| (Alizadeh et al., 2020; El Mokrini et al., 2022) | Inventory pooling, OPL y CPLEX | La agregación completa reduce costos de mantenimiento de inventario hasta en 49 % | Costo de mantenimiento |
| (Neve & Schmidt, 2021; Nicholson et al., 2004) | Optimización con LINGO | Ahorros promedio entre 2 % y 3 % por artículo sin comprometer niveles de servicio | Costo y servicio |

La Tabla 9 muestra que los mayores efectos cuantitativos no se concentran en una única técnica, sino que dependen del problema logístico abordado. Los modelos de optimización y centralización reportan reducciones relevantes de costos cuando existe coordinación entre nodos; los enfoques dinámicos y MDP son especialmente útiles en inventarios perecederos, donde la métrica crítica es el desperdicio; mientras que los sistemas ERP, RFID, DSS y otras herramientas de información tienen mayor aporte cuando el problema principal es la visibilidad, la precisión del dato o la reducción de roturas de stock. En consecuencia, la efectividad reportada debe interpretarse de manera contextual y no como una jerarquía universal entre técnicas.

5.6.6 Limitaciones y vacíos reportados por los estudios.

Las limitaciones reportadas por la literatura no afectan de la misma forma a todas las familias de técnicas. En los modelos determinísticos, las restricciones más frecuentes se relacionan con supuestos de demanda estable, disponibilidad suficiente de datos y simplificación de tiempos de entrega o capacidad, lo cual puede limitar su aplicación en hospitales con variabilidad elevada o registros incompletos (Saha & Ray, 2019; Vanbrabant et al., 2023). En los modelos estocásticos y robustos, las limitaciones se asocian principalmente con la complejidad computacional, la dependencia de escenarios y la dificultad de validar supuestos probabilísticos en hospitales reales (Pathy & Rahimian, 2023; Shourabizadeh et al., 2023).

En los estudios de simulación, las restricciones se concentran en la calidad de los datos de entrada, la participación limitada de actores clínicos y la dificultad de trasladar modelos conceptuales a procesos operativos reales (Alidoost et al., 2025; Rehman et al., 2023). En las innovaciones tecnológicas, las barreras se relacionan con infraestructura, interoperabilidad, cultura organizacional, calidad del registro y adopción por parte del personal, especialmente en herramientas como RFID, ERP, RTLS, IoT y sistemas de soporte a la decisión (Bialas et al., 2023b; L. Castro et al., 2013; Neve & Schmidt, 2021).

En los inventarios perecederos, las limitaciones se vinculan con la necesidad de información precisa sobre vida útil, demanda diaria, condiciones de almacenamiento, frescura del producto y capacidad de redistribución entre nodos hospitalarios (Abbaspour et al., 2020; Mansur et al., 2025). De manera transversal, los estudios revisados coinciden en que la brecha no se encuentra únicamente en la falta de modelos, sino en la dificultad de implementar, validar y comparar sus resultados bajo condiciones hospitalarias reales.

6. Análisis de la aplicabilidad de las técnicas en la literatura

6.1 Criterios de comparación

A partir del análisis desarrollado en la sección anterior, la literatura revisada muestra que la aplicabilidad de las técnicas de gestión de inventarios hospitalarios no depende de una única herramienta universal, sino de la relación entre el problema logístico abordado, el tipo de inventario y el contexto operativo en el que se implementa. En este sentido, la evidencia reportada por los estudios indica que la selección metodológica responde a la estructura del sistema, al nivel de incertidumbre y a la criticidad clínica del insumo, más que a una jerarquía fija de técnicas, como lo sintetizan Saha & Ray (2019) y Vanbrabant et al. (2023).

Bajo esta lógica, la presente sección no formula lineamientos normativos, sino que organiza de manera descriptiva la aplicabilidad reportada en la literatura revisada. Para ello, se sintetizan los hallazgos del corpus en tres niveles de análisis: i) aplicabilidad según el tipo de problema logístico, ii) aplicabilidad según el tipo de inventario y iii) aplicabilidad según el contexto operativo. Esta organización permite mostrar cómo los estudios seleccionados vinculan determinadas técnicas con necesidades operativas específicas dentro de la cadena de suministro hospitalaria, tal como se observa en Moons et al. (2019) y Franco & Alfonso-Lizarazo (2017).

6.2 Aplicabilidad según el tipo de problema logístico

La evidencia revisada muestra que la naturaleza del problema logístico constituye uno de los principales criterios de diferenciación en la aplicabilidad de las técnicas. En problemas de reposición y reabastecimiento bajo condiciones de demanda relativamente estable, los estudios reportan el uso de modelos determinísticos, especialmente MILP y formulaciones clásicas de inventario, orientadas a estructurar decisiones de cantidad y frecuencia de pedido bajo restricciones operativas conocidas, como se documenta en Baboli et al. (2011), Elarbi et al. (2021), Wang & Lee (2013) y Guerrero et al. (2013).

Cuando el sistema enfrenta escenarios de alta incertidumbre, como pandemias, interrupciones en el abastecimiento o variabilidad pronunciada de la demanda, la literatura describe una transición hacia programación estocástica, optimización robusta y formulaciones resilientes. Estos enfoques aparecen en estudios que buscan representar escenarios adversos, almacenamiento precautorio, proveedores secundarios y comportamiento incierto del sistema, como los reportados por Dekhoda et al. (2025), Rajabi et al. (2024), Pathy & Rahimian (2023), Shourabizadeh et al. (2023) y Greene et al. (2024).

En relación con los inventarios perecederos, los estudios reportan una mayor presencia de modelos dinámicos, procesos de decisión de Markov y formulaciones basadas en deterioro, debido a que la edad del producto y la vida útil influyen directamente en la decisión de inventario. Este patrón se observa especialmente en sangre, plaquetas, vacunas y medicamentos de alta sensibilidad temporal, como muestran Abbaspour et al. (2020), Chung & Kwon (2016), Gebicki et al. (2014) y Mansur et al. (2025).

Por otra parte, en problemas asociados a falta de visibilidad, errores de registro o trazabilidad insuficiente, la literatura reporta la aplicación de tecnologías como RFID, RTLS, ERP, DSS e infraestructuras IoT, las cuales permiten capturar información en tiempo real y reducir ineficiencias en la localización y uso de activos e insumos clínicos. Esta línea se observa en L. Castro et al. (2013), Zhou et al. (2025a), Xu et al. (2011) y X. Chen et al. (2022). Finalmente, en problemas de coordinación multinivel y distribución en red, los estudios aplican enfoques integrados como IRP y LIRP, orientados a vincular inventario, transporte y localización en un mismo marco analítico, como se aprecia en X. Shang et al. (2022), Timajchi et al. (2019), Hajipour et al. (2021) y Alizadeh et al. (2020).

Como síntesis de este comportamiento, la literatura muestra que la aplicabilidad de las técnicas tiende a desplazarse desde enfoques determinísticos en sistemas más estables hacia modelos robustos, dinámicos, simulativos o tecnológicos en entornos con mayor incertidumbre, criticidad clínica o complejidad logística, tal como resumen Saha & Ray (2019) y Vanbrabant et al. (2023).

Los patrones identificados se sintetizan de manera estructurada en la Tabla 10, facilitando la comparación entre los diferentes enfoques analizados.

Tabla 10.*Técnicas reportadas en la literatura según el tipo de problema logístico.*

| Tipo de problema | Condición del sistema | Técnica reportada en la literatura | Criterio descrito por los estudios |
|-------------------------------|------------------------------------|--|--|
| Reposición y reabastecimiento | Demanda estable, baja variabilidad | MILP, EOQ | Estudios orientados a minimización de costos y estructuración de decisiones |
| Incertidumbre y disrupciones | Alta variabilidad, pandemias | Programación estocástica, optimización robusta | Estudios orientados a resiliencia y representación de escenarios adversos |
| Evaluación de políticas | Entornos complejos o inciertos | Simulación, DES, Dinámica de Sistemas | Estudios orientados a comparar políticas antes de su implementación |
| Perecederidad | Productos con vida útil limitada | MDP, modelos de deterioro | Estudios orientados a ajustar decisiones según edad del producto y reducir desperdicio |
| Falta de visibilidad | Errores de registro, acaparamiento | RFID, RTLS | Estudios orientados a mejorar trazabilidad y precisión del inventario |
| Coordinación de red | Sistemas multinivel | IRP, LIRP | Estudios orientados a integrar inventario, transporte y localización |

6.3 Aplicabilidad según el tipo de inventario

La literatura revisada también muestra que la aplicabilidad de las técnicas cambia según la naturaleza del inventario analizado. En este sentido, la Tabla 11 sintetiza la relación entre los tipos de inventario, sus características clave, las técnicas utilizadas y los enfoques de gestión reportados en la literatura. En el caso de los medicamentos de uso general, los estudios reportan el uso de políticas de revisión periódica, sistemas ERP y esquemas de segmentación multicriterio para automatizar la reposición y priorizar los ítems con mayor impacto operativo y clínico, como se observa en Guerrero et al. (2013), Bialas et al. (2020) y Franco & Alfonso-Lizarazo (2017).

Para medicamentos perecederos o de alta criticidad, la evidencia muestra una mayor presencia de modelos dinámicos, reglas de deterioro y enfoques que incorporan vida útil, criticidad clínica y variabilidad de la demanda. En este grupo, la literatura describe una gestión orientada a equilibrar disponibilidad y vencimiento, más que únicamente a reducir costos, como muestran Chung & Kwon (2016), Zandkarimkhani et al. (2020), Elarbi et al. (2024a) y Timajchi et al. (2019).

En los componentes sanguíneos y hemoderivados, la aplicabilidad reportada se concentra en modelos que integran frescura, redistribución regional y vida útil corta. Los estudios sobre sangre y plaquetas muestran el uso de procesos de decisión de Markov, transbordo lateral y políticas orientadas a minimizar desperdicio sin comprometer el abastecimiento clínico, como se documenta en Abbaspour et al. (2020) y Mansur et al. (2025).

En el caso de las vacunas, los artículos revisados reportan el uso de Dinámica de Sistemas y enfoques de planificación bajo incertidumbre, especialmente en escenarios donde la cadena de frío, la sensibilidad del producto y la cobertura poblacional afectan la decisión logística, como en Qin & Lan (2025). Por su parte, para los insumos hospitalarios de alta rotación, como el equipo de protección personal, la literatura describe el uso de modelos epidemiológicos y formulaciones de resiliencia para anticipar picos de demanda en contextos de emergencia, tal como se observa en Dehkhoda et al. (2025) y Abedrabboh et al. (2021).

Finalmente, para activos y dispositivos médicos, la evidencia revisada muestra que la aplicabilidad se concentra en tecnologías de localización y trazabilidad en tiempo real, orientadas a mejorar utilización, reducir pérdidas y sincronizar mantenimiento y disponibilidad operativa, como reportan L. Castro et al. (2013), Bailey et al. (2013), Hajipour et al. (2021) y Zhou et al. (2025). En conjunto, los estudios indican que la perecederidad, la criticidad clínica y la movilidad del activo son variables decisivas para definir el tipo de técnica utilizada.

Tabla 11.

Relación reportada entre el tipo de inventario y las técnicas utilizadas en la literatura.

| Tipo de inventario | Característica clave | Técnica reportada | Enfoque de gestión reportado |
|-----------------------------|------------------------------------|--------------------------|---|
| Medicamentos generales | Demanda estable | (R, S), ERP, ABC-XYZ-VED | Automatización y control administrativo |
| Medicamentos perecederos | Caducidad y criticidad | Modelos dinámicos, KKT | Balance entre disponibilidad y vencimiento |
| Sangre y hemoderivados | Vida útil muy corta | MDP, transbordo lateral | Priorización de frescura y redistribución |
| Vacunas | Cadena de frío, alta incertidumbre | Dinámica de Sistemas | Planificación bajo restricciones logísticas |
| Insumos hospitalarios (EPP) | Alta variabilidad en crisis | Modelos epidemiológicos | Anticipación de demanda |
| Activos médicos | Movilidad y alto costo | RFID, RTLS | Trazabilidad y optimización de uso |

6.4 Aplicabilidad según el contexto operativo

Además del problema logístico y del tipo de inventario, la literatura revisada muestra que el contexto operativo condiciona la aplicabilidad de las técnicas. En hospitales generales, donde coexisten múltiples tipos de insumos y restricciones de recursos, los estudios reportan el uso de enfoques integrados que combinan eficiencia operativa, coordinación logística y relativa simplicidad de implementación, como se observa en Guerrero et al. (2013), Gebicki et al. (2014) y Neve & Schmidt (2021).

En farmacias hospitalarias, la evidencia se concentra en sistemas ERP, segmentación multicriterio y reorganización logística para automatizar decisiones, reducir carga administrativa y mejorar visibilidad del inventario. Esta línea se documenta en Bialas et al. (2020), C. Castro et

al. (2020), Xu et al. (2011) y Franco & Alfonso-Lizarazo (2017). En bancos de sangre, la aplicabilidad reportada se orienta hacia estrategias de colaboración regional, transbordo lateral y modelos dinámicos que priorizan frescura y disponibilidad, como muestran Abbaspour et al. (2020) y Mansur et al. (2025).

En escenarios de pandemia o emergencia, la literatura describe el uso de modelos epidemiológicos, pre-posicionamiento, optimización robusta y esquemas de almacenamiento precautorio, debido a la necesidad de anticipar cambios abruptos en la demanda y evitar desabastecimientos críticos, como se aprecia en Rajabi et al. (2024), Greene et al. (2024), Dehkhoda et al. (2025) y Rehman et al. (2023). Finalmente, en redes de suministro farmacéutico, los estudios reportan centralización, VMI, LIRP e inventory pooling como mecanismos para coordinar múltiples nodos y aprovechar economías de escala, como muestran X. Shang et al. (2022), El Mokrini et al. (2022), Baboli et al. (2011) y Zhou et al. (2025a).

De manera transversal, la literatura muestra que el contexto operativo influye en el nivel de sofisticación requerido por las herramientas de gestión. Mientras los entornos más estructurados tienden a utilizar soluciones automatizadas o de segmentación, los contextos de crisis, escasez o coordinación multinivel reportan una mayor presencia de modelos robustos, colaborativos y resilientes, como sintetizan Moons et al. (2019), Vanbrabant et al. (2023) y Bialas et al. (2023a).

Los patrones identificados se sintetizan en la Tabla 12, permitiendo comparar las técnicas según las necesidades y características de cada contexto operativo hospitalario.

Tabla 12.

Técnicas reportadas en la literatura según el contexto operativo hospitalario.

| Contexto | Necesidad principal | Técnica reportada | Enfoque estratégico reportado |
|-------------------------|------------------------------|---|--------------------------------------|
| Hospital general | Gestión de múltiples ítems | Modelos integrados, optimización conjunta | Eficiencia operativa |
| Farmacia hospitalaria | Automatización de decisiones | ERP, ABC-XYZ-VED | Reducción de carga administrativa |
| Banco de sangre | Frescura y disponibilidad | MDP, transbordo lateral | Minimización de desperdicio |
| Pandemias / emergencias | Resiliencia y anticipación | Modelos epidemiológicos, optimización robusta | Pre-posicionamiento |
| Red farmacéutica | Coordinación multinivel | LIRP, VMI, inventory pooling | Integración y economías de escala |

6.5 Síntesis comparativa de la aplicabilidad reportada

Las tres relaciones analíticas presentadas en el capítulo anterior no se interpretan como bloques independientes, sino como dimensiones complementarias de una misma respuesta a la pregunta de investigación. La primera relación permite identificar las técnicas y herramientas utilizadas; la segunda permite reconocer los problemas logísticos y dominios de aplicación; y la tercera permite observar las métricas, resultados y condiciones de implementación reportadas por la literatura. Por esta razón, la presente sección integra estas dimensiones mediante el cruce entre problema logístico, técnica utilizada, herramienta computacional, tipo de inventario, contexto operativo e indicador de desempeño. Esta integración evita que los indicadores de gestión queden separados de los modelos que los calculan y permite orientar la interpretación hacia la toma de decisiones basada en evidencia.

Tabla 13.

Síntesis integrada entre problema, técnica, herramienta y resultado reportado.

| Problema logístico | Técnica predominante | Herramienta / sistema reportado | Inventario o contexto | Indicador evaluado | Resultado o aporte reportado | Autores representativos |
|---------------------------------|---|--|---|--|--|--|
| Reposición y reabastecimiento | MILP, MINLP, políticas (R,Q), modelos determinísticos | LINGO, MATLAB, Java, Excel | Farmacia hospitalaria y cadena farmacéutica multinivel | Costo, nivel de servicio, valor de stock | Reducción de costos, disminución del valor de inventario y mejora de políticas de reposición | (Baboli et al., 2011; Elarbi et al., 2021; Fatemi et al., 2022; Guerrero et al., 2013; Wang & Lee, 2013) |
| Incertidumbre y disrupciones | Optimización robusta, programación estocástica, modelos epidemiológicos | GAMS, CPLEX, Python, modelos SEIRHD | Pandemias, EPP, medicamentos críticos | Escasez, déficit, resiliencia, disponibilidad | Reducción de déficit, mejor anticipación de demanda y fortalecimiento de resiliencia | (Dehkhoda et al., 2025; Greene et al., 2024; Pathy & Rahimian, 2023; Rajabi et al., 2024; Rehman et al., 2023; Shourabizadeh et al., 2023) |
| Perecederidad | MDP, modelos dinámicos, transbordo lateral, deterioro | Excel, Minitab, OpenSolver, LINGO | Sangre, plaquetas, vacunas y medicamentos perecederos | Desperdicio, frescura, disponibilidad | Menor desperdicio, mejor uso de vida útil y redistribución entre nodos | (Abbaspour et al., 2020; Chung & Kwon, 2016; Elarbi et al., 2024b; Gebicki et al., 2014; Mansur et al., 2025; Timajchi et al., 2019) |
| Coordinación de red | IRP, LIRP, inventory pooling, localización-ruteo | CPLEX, OPL, GAMS | Redes farmacéuticas, hospitales y distribución multinivel | Costo de transporte, costo de mantenimiento, pedidos de emergencia | Ahorros por coordinación, reducción de costos de mantenimiento e integración inventario-transporte | (Alizadeh et al., 2020; El Mokri et al., 2022; Hajipour et al., 2021; X. Shang et al., 2022; Timajchi et al., 2019) |
| Visibilidad y trazabilidad | RFID, RTLS, IoT, blockchain, códigos de barras | ERP, DSS, MSIS, sistemas web, sensores | Activos médicos, insumos clínicos y cadenas farmacéuticas | Precisión del dato, localización, trazabilidad | Mejora de visibilidad, reducción de errores de registro y apoyo a decisiones operativas | (Bailey et al., 2013; L. Castro et al., 2013; X. Chen et al., 2022; Hajipour et al., 2021; Xu et al., 2011; Zhou et al., 2025) |
| Gestión estratégica y desempeño | KPIs, Lean, segmentación ABC-XYZ-VED, outsourcing | ERP, DSS, sistemas de información, herramientas analíticas | Farmacia hospitalaria, hospitales generales y | Rotación, cobertura, stock muerto, stockout | Mejoras en KPIs, reducción de roturas de stock y apoyo a decisiones administrativas | (Bialas et al., 2020, 2023b; C. Castro et al., 2020; Moons et al., 2019; Neve & Schmidt, 2021; |

| Problema logístico | Técnica predominante | Herramienta / sistema reportado | Inventario o contexto | Indicador evaluado | Resultado o aporte reportado | Autores representativos |
|---------------------------|-----------------------------|--|------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|---|
| | | | gestión interna | | | Nicholson et al., 2004; Schouten et al., 2023; Vanbrabant et al., 2023) |

La Tabla 13 integrada permite responder de manera más directa la pregunta de investigación, porque relaciona cada técnica con el problema que aborda, la herramienta que permite aplicarla, el tipo de inventario donde se reporta y la métrica utilizada para evaluar su desempeño. Así, la síntesis deja de presentar las relaciones analíticas como apartados independientes y las convierte en un esquema comparativo para interpretar la aplicabilidad de las técnicas. Desde esta perspectiva, la revisión no concluye que exista una herramienta universalmente superior, sino que la pertinencia de cada enfoque depende de la relación entre problema logístico, disponibilidad de datos, criticidad del inventario, infraestructura tecnológica y resultado esperado.

7. Conclusiones

La revisión sistemática permitió analizar 55 artículos relacionados con la gestión de inventarios en la cadena de suministro hospitalaria. A partir de la revisión documental, los estudios fueron organizados en ocho categorías, agrupadas en tres relaciones analíticas: técnicas y enfoques metodológicos, problemas o dominios de aplicación, y gestión y evaluación. Esta clasificación facilitó ordenar una literatura diversa, en la que aparecen distintos modelos, herramientas, contextos operativos, tipos de inventario y métricas de desempeño.

En el corpus revisado se identificó una presencia importante de técnicas de optimización cuantitativa, especialmente programación lineal entera mixta, modelos estocásticos, simulación,

lógica difusa y enfoques robustos. También se observó el uso de herramientas tecnológicas y computacionales como RFID, RTLS, ERP, DSS, inteligencia artificial, IoT, blockchain, R, Python, Excel y OpenSolver. Estas herramientas no aparecen de manera aislada, sino relacionadas con problemas como reposición, ruteo, localización, trazabilidad, perecederidad, resiliencia frente a disrupciones y coordinación entre diferentes actores de la cadena hospitalaria.

La síntesis de aplicabilidad mostró que no existe una técnica única para todos los escenarios. La selección de herramientas cambia según el problema logístico, el tipo de inventario, el contexto operativo, las políticas de inventario y las variables consideradas en cada estudio. Así, los modelos determinísticos se reportan con mayor frecuencia en problemas de reposición relativamente estable, mientras que los enfoques robustos, simulativos, dinámicos o tecnológicos aparecen en escenarios con mayor incertidumbre, productos perecederos, necesidades de trazabilidad o coordinación multinivel.

Finalmente, los estudios revisados señalan limitaciones asociadas con la calidad de los datos, los supuestos de modelación, la complejidad computacional, la validación en entornos reales, la interoperabilidad tecnológica y la participación del personal hospitalario. Por ello, la brecha entre desarrollo teórico e implementación práctica debe entenderse como un patrón descrito por la literatura revisada, no como una medición empírica realizada directamente en este trabajo.

8. Recomendaciones

A partir de los resultados de la revisión, se considera importante que futuras investigaciones avancen hacia estudios validados en contextos hospitalarios reales, especialmente en América Latina, donde todavía se observa poca evidencia empírica sobre la aplicación de estas técnicas. También sería útil desarrollar marcos comparativos que permitan evaluar de forma más

ordenada el desempeño de los distintos enfoques, teniendo en cuenta el tipo de problema logístico, el inventario analizado y el contexto operativo en el que se aplican.

Desde el punto de vista práctico, las instituciones de salud deberían evitar políticas de inventario homogéneas para todos los insumos, ya que no todos los productos tienen la misma criticidad, vida útil o comportamiento de demanda. Por esta razón, se recomienda adoptar enfoques diferenciados que consideren la naturaleza del producto, el nivel de riesgo asociado al desabastecimiento y la variabilidad del consumo. De igual manera, resulta necesario mejorar la calidad de los registros, la trazabilidad de los productos y la formación del personal encargado de los procesos logísticos, debido a que estos elementos influyen directamente en la efectividad de cualquier modelo o herramienta de análisis.

Finalmente, se recomienda fortalecer la articulación entre hospitales, universidades, proveedores y entidades gubernamentales, con el fin de facilitar la transferencia de conocimiento y la implementación gradual de soluciones tecnológicas y analíticas. Asimismo, futuras investigaciones podrían profundizar en temas como el comportamiento del personal, la cultura organizacional, la gobernanza de datos y la relación entre decisiones clínicas y logísticas, dado que estos aspectos pueden explicar parte de la distancia que aún existe entre los modelos propuestos en la literatura y su aplicación en la operación hospitalaria real.

Referencias Bibliográficas

- Abbaspour, A., Jahan, A., & Rezaiee, M. (2020). A simple empirical model for blood platelet production and inventory management under uncertainty. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing* 2020 12:2, 12(2), 1783–1799. <https://doi.org/10.1007/S12652-020-02254-X>
- Abedrabboh, K., Pilz, M., Al-Fagih, Z., Al-Fagih, O. S., Nebel, J. C., & Al-Fagih, L. (2021). Game theory to enhance stock management of Personal Protective Equipment (PPE) during the COVID-19 outbreak. *PLOS ONE*, 16(2), e0246110. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0246110>
- Alidoost, F., Mustafee, N., Monks, T., & Harper, A. (2025). Simulation in healthcare supply chains with perishable products: a scoping review. *Journal of the Operational Research Society*. <https://doi.org/10.1080/01605682.2025.2509698>
- Alidoost, F., Mustafee, N., Monks, T., & Harper, A. (2026). Simulation in healthcare supply chains with perishable products: a scoping review. *Journal of the Operational Research Society*. <https://doi.org/10.1080/01605682.2025.2509698>
- Alizadeh, M., Makui, A., & Paydar, M. M. (2020). Forward and reverse supply chain network design for consumer medical supplies considering biological risk. *Computers & Industrial Engineering*, 140, 106229. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2019.106229>
- Baboli, A., Fondrevelle, J., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Mehrabi, A. (2011). A replenishment policy based on joint optimization in a downstream pharmaceutical supply chain: centralized vs. decentralized replenishment. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2011 57:1, 57(1), 367–378. <https://doi.org/10.1007/S00170-011-3290-X>

- Bailey, G., Cherrett, T., Waterson, B., & Long, R. (2013). Can locker box logistics enable more human-centric medical supply chains? *International Journal of Logistics Research and Applications*, 16(6), 447–460. <https://doi.org/10.1080/13675567.2013.856874>
- Bialas, C., Bechtsis, D., Aivazidou, E., Achillas, C., & Aidonis, D. (2023a). A Holistic View on the Adoption and Cost-Effectiveness of Technology-Driven Supply Chain Management Practices in Healthcare. *Sustainability* 2023, Vol. 15, 15(6). <https://doi.org/10.3390/su15065541>
- Bialas, C., Bechtsis, D., Aivazidou, E., Achillas, C., & Aidonis, D. (2023b). A Holistic View on the Adoption and Cost-Effectiveness of Technology-Driven Supply Chain Management Practices in Healthcare. *Sustainability* 2023, Vol. 15, 15(6). <https://doi.org/10.3390/SU15065541>
- Bialas, C., Revanoglou, A., & Manthou, V. (2020). Improving hospital pharmacy inventory management using data segmentation. *American Journal of Health-System Pharmacy*, 77(5), 371–377. <https://doi.org/10.1093/AJHP/ZXZ264>
- Bilal, A. I., Rostami-Tabar, B., Hewage, H. H., Bititci, U. S., & Fenta, T. G. (2025). The missing puzzle piece: contextual insights for enhanced pharmaceutical supply chain forecasting. *International Journal of Production Research*, 63(24), 10189–10207. <https://doi.org/10.1080/00207543.2025.2546028>
- Castro, C., Pereira, T., Sá, J. C., & Santos, G. (2020). Logistics reorganization and management of the ambulatory pharmacy of a local health unit in Portugal. *Evaluation and Program Planning*, 80, 101801. <https://doi.org/10.1016/J.EVALPROGPLAN.2020.101801>

- Castro, L., Lefebvre, E., & Lefebvre, L. A. (2013). Adding Intelligence to Mobile Asset Management in Hospitals: The True Value of RFID. *Journal of Medical Systems* 2013 37:5, 37(5), 9963-. <https://doi.org/10.1007/S10916-013-9963-2>
- Chen, E., Goold, S., Harrison, S., Ali, I., Makki, I., Kent, S. S., & Shuman, A. G. (2021). Drug shortage management: A qualitative assessment of a collaborative approach. *PLOS ONE*, 16(4), e0243870. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0243870>
- Chen, X., He, C., Chen, Y., & Xie, Z. (2022). Internet of Things (IoT)—blockchain-enabled pharmaceutical supply chain resilience in the post-pandemic era. *Frontiers of Engineering Management* 2022 10:1, 10(1), 82–95. <https://doi.org/10.1007/S42524-022-0233-1>
- Chung, S. H., & Kwon, C. (2016). Integrated supply chain management for perishable products: Dynamics and oligopolistic competition perspectives with application to pharmaceuticals. *International Journal of Production Economics*, 179, 117–129. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2016.05.021>
- David, C., & Vega, A. (2020). *Un modelo para la localización y ruteo de vehículos de dos escalones aplicado a la logística hospitalaria (2e-lrp)*. Universidad Industrial de Santander. <https://noesis.uis.edu.co/handle/20.500.14071/40227>
- Dehkhoda, K., Bélanger, V., & Cousineau, M. (2025). The effect of visibility on forecast and inventory management performance during the COVID-19 pandemic. *International Journal of Production Research*, 63(8), 2970–2992. <https://doi.org/10.1080/00207543.2024.2414380>
- Dolatabad, A. H., Mahdiraji, H. A., Babgohari, A. Z., Garza-Reyes, J. A., & Ai, A. (2022). Analyzing the key performance indicators of circular supply chains by hybrid fuzzy cognitive mapping and Fuzzy DEMATEL: evidence from healthcare sector. *Environment*,

Development and Sustainability 2022 27:10, 27(10), 23345–23371.
<https://doi.org/10.1007/s10668-022-02535-9>

El Mokrini, A., Aouam, T., & Kafa, N. (2022). A tailored aggregation strategy for inventory pooling in healthcare: evidence from an emerging market. *Operations Management Research* 2022 16:1, 16(1), 209–226. <https://doi.org/10.1007/S12063-022-00302-7>

Elarbi, M., Ayadi, O., Masmoudi, M., & Masmoudi, F. (2021). Drug-inventory-management-model for a multi-echelon pharmaceutical supply-chain: case study of the Tunisian pharmaceutical supply-chain. *Supply Chain Forum: An International Journal*, 22(1), 44–56. <https://doi.org/10.1080/16258312.2020.1824532>

Elarbi, M., Masmoudi, M., Ayadi, O., & Masmoudi, F. (2024a). The impact of transshipment and staggered deliveries on pharmaceutical supply chain performance. *Supply Chain Forum*. <https://doi.org/10.1080/16258312.2024.2420260>

Elarbi, M., Masmoudi, M., Ayadi, O., & Masmoudi, F. (2024b). The impact of transshipment and staggered deliveries on pharmaceutical supply chain performance. *Supply Chain Forum: An International Journal*. <https://doi.org/10.1080/16258312.2024.2420260>

Fatemi, M. S., Ghodrathnama, A., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Kaboli, A. (2022). A multi-functional tri-objective mathematical model for the pharmaceutical supply chain considering congestion of drugs in factories. *Research in Transportation Economics*, 92, 101094. <https://doi.org/10.1016/J.RETREC.2021.101094>

Franco, C., & Alfonso-Lizarazo, E. (2017). A Structured Review of Quantitative Models of the Pharmaceutical Supply Chain. *Complexity*, 2017(1), 5297406. <https://doi.org/10.1155/2017/5297406>

- Franco, C., & Alfonso-Lizarazo, E. (2020). Optimization under uncertainty of the pharmaceutical supply chain in hospitals. *Computers & Chemical Engineering*, *135*, 106689. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2019.106689>
- Friday, D., Savage, D. A., Melnyk, S. A., Harrison, N., Ryan, S., & Wechtler, H. (2021). A collaborative approach to maintaining optimal inventory and mitigating stockout risks during a pandemic: capabilities for enabling health-care supply chain resilience. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, *11*(2), 248–271. <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-07-2020-0061>
- Gebicki, M., Mooney, E., Chen, S. J. (Gary), & Mazur, L. M. (2014). Evaluation of hospital medication inventory policies. *Health Care Management Science*, *17*(3), 215. <https://doi.org/10.1007/S10729-013-9251-1>
- Goodarzian, F., Ghasemi, P., Appolloni, A., Ali, I., & Cárdenas-Barrón, L. E. (2024a). Supply chain network design based on Big Data Analytics: heuristic-simulation method in a pharmaceutical case study. *Production Planning and Control*. <https://doi.org/10.1080/09537287.2024.2344729>
- Goodarzian, F., Ghasemi, P., Appolloni, A., Ali, I., & Cárdenas-Barrón, L. E. (2024b). Supply chain network design based on Big Data Analytics: heuristic-simulation method in a pharmaceutical case study. *Production Planning & Control*. <https://doi.org/10.1080/09537287.2024.2344729>
- Goodarzian, F., Hosseini-Nasab, H., Muñuzuri, J., & Fakhrazad, M. B. (2020). A multi-objective pharmaceutical supply chain network based on a robust fuzzy model: A comparison of meta-heuristics. *Applied Soft Computing*, *92*, 106331. <https://doi.org/10.1016/J.ASOC.2020.106331>

- Goodarzian, F., Kumar, V., & Ghasemi, P. (2021). A set of efficient heuristics and meta-heuristics to solve a multi-objective pharmaceutical supply chain network. *Computers & Industrial Engineering*, *158*, 107389. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107389>
- Goodarzian, F., Taleizadeh, A. A., Ghasemi, P., & Abraham, A. (2021). An integrated sustainable medical supply chain network during COVID-19. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, *100*, 104188. <https://doi.org/10.1016/J.ENGAPPAI.2021.104188>
- Greene, C., Zabinsky, Z. B., Sarley, D., & Akhlaghi, L. (2024). Inventory and order management for healthcare commodities during a pandemic. *Annals of Operations Research* 2024 *337:1*, *337(1)*, 105–133. <https://doi.org/10.1007/s10479-024-05870-4>
- Guerrero, W. J., Yeung, T. G., & Guéret, C. (2013). Joint-optimization of inventory policies on a multi-product multi-echelon pharmaceutical system with batching and ordering constraints. *European Journal of Operational Research*, *231(1)*, 98–108. <https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2013.05.030>
- Hajipour, V., Niaki, S. T. A., Akhgar, M., & Ansari, M. (2021). The healthcare supply chain network design with traceability: A novel algorithm. *Computers & Industrial Engineering*, *161*, 107661. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107661>
- Hosseini-Motlagh, S. M., Samani, M. R. G., & Kordhaghi, H. (2026). A possibilistic programming approach in an integrated fuzzy periodic review model and clustering strategy for optimizing platelet supply chain. *Expert Systems with Applications*, *298*, 129539. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2025.129539>
- Hovav, S., & Tsadikovich, D. (2015). A network flow model for inventory management and distribution of influenza vaccines through a healthcare supply chain. *Operations Research for Health Care*, *5(6)*, 49–62. <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2015.05.003>

- Jessica, H., Britney, R., Sarira, E. Den, Parisa, A., Joe, Z., & Betty B, C. (2025). Applications of artificial intelligence in current pharmacy practice: A scoping review. *Research in Social and Administrative Pharmacy*, 21(3), 134–141. <https://doi.org/10.1016/j.sapharm.2024.12.007>
- Kees, M. C., Bandoni, J. A., & Moreno, M. S. (2019). An Optimization Model for Managing the Drug Logistics Process in a Public Hospital Supply Chain Integrating Physical and Economic Flows. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 58(9), 3767–3781. <https://doi.org/10.1021/ACS.IECR.8B03968>
- Kelle, P., Woosley, J., & Schneider, H. (2012). Pharmaceutical supply chain specifics and inventory solutions for a hospital case. *Operations Research for Health Care*, 1(2–3), 54–63. <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2012.07.001>
- Kochakkashani, F., Kayvanfar, V., & Baldacci, R. (2024). Innovative Applications of Unsupervised Learning in Uncertainty-Aware Pharmaceutical Supply Chain Planning. *IEEE Access*, 12, 107984–107999. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3435439>
- Lapierre, S. D., & Ruiz, A. B. (2007). Scheduling logistic activities to improve hospital supply systems. *Computers & Operations Research*, 34(3), 624–641. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2005.03.017>
- Leung, N. H. Z., Chen, A., Yadav, P., & Gallien, J. (2016). The Impact of Inventory Management on Stock-Outs of Essential Drugs in Sub-Saharan Africa: Secondary Analysis of a Field Experiment in Zambia. *PLOS ONE*, 11(5), e0156026. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0156026>
- Liao, H. C., & Chang, H. H. (2011). The optimal approach for parameter settings based on adjustable contracting capacity for the hospital supply chain logistics system. *Expert Systems with Applications*, 38(5), 4790–4797. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2010.09.168>

- Manrique Saavedra, D. X. (2025). *Modelo de optimización para el problema de recolección de residuos hospitalarios considerando flota heterogénea y carga compartida*. Universidad Industrial de Santander. <https://noesis.uis.edu.co/handle/20.500.14071/45466>
- Mansur, A., Hidayat, T., Rizky, N., & Wangsa, I. D. (2025). A multi-objective analytical framework for sustainable blood supply chain optimization. *Supply Chain Analytics*, *11*, 100142. <https://doi.org/10.1016/J.SCA.2025.100142>
- Moons, K., Waeyenbergh, G., & Pintelon, L. (2019). Measuring the logistics performance of internal hospital supply chains – A literature study. *Omega*, *82*, 205–217. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2018.01.007>
- Neve, B. V., Charles, ., Schmidt, P., & Schmidt, C. P. (2021). Point-of-use hospital inventory management with inaccurate usage capture. *Health Care Management Science* *2021 25:1*, *25*(1), 126–145. <https://doi.org/10.1007/s10729-021-09573-1>
- Neve, B. V., & Schmidt, C. P. (2021). Point-of-use hospital inventory management with inaccurate usage capture. *Health Care Management Science* *2021 25:1*, *25*(1), 126–145. <https://doi.org/10.1007/S10729-021-09573-1>
- Niakan, F., & Rahimi, M. (2015a). A multi-objective healthcare inventory routing problem; a fuzzy possibilistic approach. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *80*, 74–94. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2015.04.010>
- Niakan, F., & Rahimi, M. (2015b). A multi-objective healthcare inventory routing problem; a fuzzy possibilistic approach. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *80*, 74–94. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2015.04.010>

- Nicholson, L., Vakharia, A. J., & Selcuk Erenguc, S. (2004). Outsourcing inventory management decisions in healthcare: Models and application. *European Journal of Operational Research*, 154(1), 271–290. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00700-2](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00700-2)
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Pathy, S. R., & Rahimian, H. (2023). A resilient inventory management of pharmaceutical supply chains under demand disruption. *Computers & Industrial Engineering*, 180, 109243. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109243>
- Priyan, S., & Mala, P. (2020). Optimal inventory system for pharmaceutical products incorporating quality degradation with expiration date: A game theory approach. *Operations Research for Health Care*, 24(2), 100245. <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2020.100245>
- Qin, Y., & Lan, H. (2025). Simulation study of pharmaceutical supply chains based on system dynamics. *Finance Research Letters*, 72, 106447. <https://doi.org/10.1016/J.FRL.2024.106447>
- Rajabi, R., Shadkam, E., & Khalili, S. M. (2024). Design and optimization of a pharmaceutical supply chain network under COVID-19 pandemic disruption. *Sustainable Operations and Computers*, 5, 102–111. <https://doi.org/10.1016/J.SUSOC.2024.04.002>
- Rehman, A. U., Mian, S. H., Usmani, Y. S., Abidi, M. H., & Mohammed, M. K. (2023). Modelling and Analysis of Hospital Inventory Policies during COVID-19 Pandemic. *Processes* 2023, Vol. 11, 11(4). <https://doi.org/10.3390/PR11041062>

- Safaei, F., & Zarrinpoor, N. (2024). Design of a pharmaceutical supply chain in uncertain conditions considering financial strategies and environmental concerns. *Operations Management Research* 2024 17:3, 17(3), 891–915. <https://doi.org/10.1007/S12063-024-00440-0>
- Saha, E., & Ray, P. K. (2019). Modelling and analysis of inventory management systems in healthcare: A review and reflections. *Computers & Industrial Engineering*, 137, 106051. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2019.106051>
- Schouten, A. M., Flipse, S. M., van Nieuwenhuizen, K. E., Jansen, F. W., van der Eijk, A. C., & van den Dobbelsteen, J. J. (2023). Operating Room Performance Optimization Metrics: a Systematic Review. *Journal of Medical Systems* 2023 47:1, 47(1), 19-. <https://doi.org/10.1007/S10916-023-01912-9>
- Shang, J., Tadikamalla, P. R., Kirsch, L. J., & Brown, L. (2008). A decision support system for managing inventory at GlaxoSmithKline. *Decision Support Systems*, 46(1), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2008.04.004>
- Shang, X., Zhang, G., Jia, B., & Almanaseer, M. (2022). The healthcare supply location-inventory-routing problem: A robust approach. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 158, 102588. <https://doi.org/10.1016/J.TRE.2021.102588>
- Shourabizadeh, H., Kundakcioglu, O. E., Bozkir, C. D. C., Tufekci, M. B., & Henry, A. C. (2023). Healthcare inventory management in the presence of supply disruptions and a reliable secondary supplier. *Annals of Operations Research* 2023 331:2, 331(2), 1149–1206. <https://doi.org/10.1007/S10479-023-05620-Y>
- Timajchi, A., Mirzapour Al-e-Hashem, S. M. J., & Rekik, Y. (2019). Inventory routing problem for hazardous and deteriorating items in the presence of accident risk with transshipment

- option. *International Journal of Production Economics*, 209, 302–315.
<https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2018.01.018>
- Torres Gomez, J. (2023). *Modelo determinístico mono-objetivo para el diseño de la red de cadena de suministro farmacéutico, multi-ítem, multiperiodo*. Universidad Industrial de Santander.
<https://noesis.uis.edu.co/handle/20.500.14071/14289>
- Uthayakumar, R., & Priyan, S. (2013). Pharmaceutical supply chain and inventory management strategies: Optimization for a pharmaceutical company and a hospital. *Operations Research for Health Care*, 2(3), 52–64. <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2013.08.001>
- Vanbrabant, L., Verdonck, L., Mertens, S., & Caris, A. (2023). Improving hospital material supply chain performance by integrating decision problems: A literature review and future research directions. *Computers & Industrial Engineering*, 180, 109235.
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109235>
- Volland, J., Fügener, A., Schoenfelder, J., & Brunner, J. O. (2017). Material logistics in hospitals: A literature review. *Omega*, 69, 82–101. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2016.08.004>
- Wang, S. P., & Lee, W. (2013). A joint economic lot-sizing model for the hospital's supplier with capacitated warehouse constraint. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 30(3), 202–210. <https://doi.org/10.1080/21681015.2013.805700>
- Wu, S., & Luo, M. (2024). Pricing and Ordering Strategies in China's Pharmaceutical Supply Chains with Mandatory Replenishment Mechanism. *IEEE Access*, 12, 134215–134234.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3462475>
- Wu, S., Luo, M., Zhang, J., Zhang, D., & Zhang, L. (2022). Pharmaceutical Supply Chain in China: Pricing and Production Decisions with Price-Sensitive and Uncertain Demand. *Sustainability* 2022, Vol. 14, 14(13). <https://doi.org/10.3390/SU14137551>

- Xu, E., Wermus, M., & Bauman, D. B. (2011). Development of an integrated medical supply information system. *Enterprise Information Systems*, 5(3), 385–399. <https://doi.org/10.1080/17517575.2011.566630>
- Zandkarimkhani, S., Mina, H., Biuki, M., & Govindan, K. (2020). A chance constrained fuzzy goal programming approach for perishable pharmaceutical supply chain network design. *Annals of Operations Research* 2020 295:1, 295(1), 425–452. <https://doi.org/10.1007/S10479-020-03677-7>
- Zhou, C., Yang, R., & Zhang, G. (2025a). RFID adoption strategy and the operational performance of a pharmaceutical supply chain: The role of hospital competition. *Computers & Industrial Engineering*, 206, 111201. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2025.111201>
- Zhou, C., Yang, R., & Zhang, G. (2025b). RFID adoption strategy and the operational performance of a pharmaceutical supply chain: The role of hospital competition. *Computers & Industrial Engineering*, 206, 111201. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2025.111201>
- Zhu, Y., Yang, Z., & He, Q. (2025). Simulation of pharmaceutical supply chain resilience in Hebei Province: An impact factor-capability perspective. *Alexandria Engineering Journal*, 122, 436–452. <https://doi.org/10.1016/J.AEJ.2025.03.049>