

**INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS
EN COLOMBIA**



**INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS
EN COLOMBIA**

Gabriel Stiben Moreno Romero

Universidad Ean

Facultad de Ingeniería

Especialización en Gerencia de proyectos

Colombia

25/05/2026

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS EN COLOMBIA

Resumen

El acceso oportuno a medicamentos en Colombia es un componente esencial del derecho fundamental a la salud. Sin embargo, el sistema logístico farmacéutico presenta fallas estructurales que comprometen su eficiencia y cobertura: quiebres de stock recurrentes, sobreinventarios y pérdidas económicas significativas derivadas de deficiencias en la planificación de la demanda y la gestión de inventarios. Estas problemáticas se agravan por la dispersión geográfica del territorio colombiano, la variabilidad epidemiológica y la fragmentación institucional entre los actores del sistema de salud.

La gestión de la cadena de suministro en salud ha incorporado modelos como el Supply Chain Operations Reference (SCOR) para estructurar y optimizar los procesos logísticos. No obstante, los métodos tradicionales de predicción de demanda, basados en modelos estadísticos convencionales, resultan insuficientes en contextos de alta incertidumbre. Estudios recientes demuestran que los algoritmos de aprendizaje automático mejoran significativamente la precisión del pronóstico farmacéutico y reducen los niveles de desabastecimiento.

A pesar de estos avances, en Colombia menos del 8% de los actores de la cadena logística farmacéutica utilizan herramientas analíticas avanzadas, lo que evidencia una brecha importante entre el conocimiento disponible y su aplicación práctica. El sistema opera de manera reactiva, con baja capacidad de anticipación ante las dinámicas de la demanda.

El análisis de variables técnicas, tasa de desabastecimiento, error de pronóstico, nivel de inventario y trazabilidad, y contextuales, capacidad tecnológica, regulación, cultura organizacional y dispersión geográfica, confirma que el problema tiene naturaleza mixta: tecnológica, operativa y organizacional. La implementación de Inteligencia Artificial,

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS EN COLOMBIA

acompañada de transformación de procesos y fortalecimiento del talento humano, se perfila como la estrategia clave para garantizar el acceso oportuno a medicamentos en todo el territorio nacional.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS EN COLOMBIA

Abstract

Colombia's pharmaceutical logistics system presents structural failures that prevent timely medication supply for all users of the General Social Security Health System. Stock-outs, over-inventories, and significant economic losses result from deficiencies in demand planning and inventory management, compounded by the country's complex geography and fragmented institutional framework. The adoption of advanced analytical tools in Colombia remains limited, creating a technological gap within the pharmaceutical supply chain. This research analyzes the potential of Artificial Intelligence tools—particularly machine learning-based demand forecasting models—to improve efficiency in Colombia's pharmaceutical logistics chain and proposes strategic guidelines for their implementation

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS EN COLOMBIA

Contenido

Introducción	6
Objetivo general	9
Justificación	12
Marco Teórico	15
Metodología	19
Procedimiento	25
Diagnóstico	28
Conclusiones	32
Recomendaciones	33
Referencias	36
Anexos	38

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS EN COLOMBIA

Introducción

El acceso oportuno a los medicamentos es un componente esencial para garantizar el derecho fundamental a la salud y el adecuado funcionamiento de los sistemas sanitarios. A nivel global, la gestión de la cadena de suministro farmacéutica ha sido objeto de múltiples investigaciones orientadas a mejorar la eficiencia en la disponibilidad, la distribución y el control de los medicamentos. Sin embargo, en países en desarrollo, como Colombia, persisten problemáticas estructurales relacionadas con el desabastecimiento, la ineficiencia logística y la limitada capacidad de respuesta ante la variabilidad de la demanda (World Health Organization [WHO], 2021). En el contexto colombiano, la logística de medicamentos enfrenta desafíos significativos derivados de la dispersión geográfica del territorio, la heterogeneidad en el acceso a infraestructura y la fragmentación institucional del sistema de salud. Según el Ministerio de Salud y Protección Social (2022), un porcentaje considerable de las Entidades Promotoras de Salud (EPS) reporta quiebres recurrentes de stock, lo que afecta directamente la continuidad de los tratamientos médicos. Asimismo, el Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2021) estima que las ineficiencias en la cadena logística del sector salud generan pérdidas económicas superiores a COP 1,2 billones anuales, lo que evidencia la magnitud del problema. Desde el ámbito científico, la gestión de la cadena de suministro en salud se ha abordado mediante modelos como el Supply Chain Operations Reference (SCOR), que permite analizar los procesos logísticos desde la planificación hasta la distribución (APICS, 2017). No obstante, los métodos tradicionales de predicción de demanda han demostrado ser insuficientes en entornos caracterizados por alta incertidumbre y variabilidad. Investigaciones recientes evidencian que la incorporación de herramientas de Inteligencia Artificial, en particular algoritmos de aprendizaje automático, mejora significativamente la precisión de los pronósticos y optimiza la gestión de

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS EN COLOMBIA

inventarios (McKinsey & Company, 2024). A pesar de estos avances, en Colombia la adopción de tecnologías basadas en inteligencia artificial en la logística farmacéutica aún es incipiente. Diversos informes institucionales indican que la adopción de herramientas analíticas avanzadas en la cadena logística farmacéutica colombiana continúa siendo limitada, lo que evidencia una brecha tecnológica importante en el sector (Ministerio de Salud y Protección Social, 2022; Departamento Nacional de Planeación, 2021). Esta situación limita la capacidad del sistema para anticipar la demanda, optimizar los recursos y garantizar la disponibilidad oportuna de medicamentos. En este sentido, el presente trabajo se enmarca en el campo de la gerencia de proyectos y la ingeniería aplicada a la gestión de la cadena de suministro, abordando la problemática desde una perspectiva integral que considera variables técnicas, operativas y organizacionales. Se plantea como eje central el análisis del potencial de la Inteligencia Artificial como herramienta para mejorar la eficiencia en la logística de medicamentos en Colombia. A partir de este enfoque, se formula la siguiente pregunta de investigación: ¿De qué manera la implementación de herramientas de Inteligencia Artificial puede mejorar la eficiencia en la logística de medicamentos en Colombia para garantizar el abastecimiento oportuno a todos los usuarios del sistema de salud? Esta pregunta orienta el desarrollo del estudio hacia la identificación de soluciones que permitan reducir las fallas actuales del sistema. El propósito de esta investigación es analizar las principales problemáticas de la cadena logística farmacéutica en Colombia, identificar las variables que influyen en su funcionamiento y evaluar el potencial de la Inteligencia Artificial como estrategia para optimizar los procesos logísticos, mejorar la toma de decisiones y garantizar el acceso oportuno a medicamentos. Finalmente, el documento se estructura en diferentes secciones. En primer lugar, se presenta el planteamiento del problema, donde se profundiza en sus causas y características. Posteriormente, se desarrollan los objetivos

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS EN COLOMBIA

y la justificación del estudio. A continuación, se abordan el marco teórico y la metodología de investigación. Finalmente, se presentan el diagnóstico, la propuesta, el plan de intervención y las conclusiones, orientados a generar aportes relevantes para el mejoramiento del sistema de salud colombiano.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS EN COLOMBIA

Objetivo general

Analizar el potencial de implementar herramientas de inteligencia artificial en la logística de medicamentos en Colombia, con el fin de mejorar la eficiencia en la gestión de la demanda, optimizar los inventarios y garantizar el abastecimiento oportuno en el sistema de salud.

Este objetivo se fundamenta en evidencia que señala que las herramientas de inteligencia artificial permiten mejorar significativamente la precisión en la predicción de la demanda y en la toma de decisiones logísticas, especialmente en contextos de alta incertidumbre y variabilidad, como el sector salud (McKinsey & Company, 2024). Asimismo, su aplicación en cadenas de suministro complejas ha demostrado reducir los niveles de desabastecimiento y optimizar el uso de los recursos disponibles (World Health Organization [WHO], 2021).

Objetivos Específicos

1. Caracterizar el estado actual de la cadena logística de medicamentos en Colombia e identificar sus principales ineficiencias y los puntos críticos de desabastecimiento.

Este objetivo permite comprender la situación actual del sistema logístico farmacéutico, que presenta fallas estructurales en la planificación de la demanda, la distribución y la gestión de inventarios. Estudios del Ministerio de Salud y Protección Social (2022) y del Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2021) evidencian quiebres de stock recurrentes y pérdidas económicas significativas, lo que justifica la necesidad de un diagnóstico detallado.

2. Identificar y analizar las variables técnicas y contextuales que influyen en la eficiencia de la logística de medicamentos en el sistema de salud colombiano.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS EN COLOMBIA

El análisis de variables es fundamental para comprender la complejidad del problema, ya que factores como el error de pronóstico de la demanda, la trazabilidad, la variabilidad epidemiológica y la dispersión geográfica inciden directamente en el desempeño logístico. La literatura señala que la interacción entre estas variables determina la eficiencia de la cadena de suministro y su capacidad de respuesta (Chopra & Meindl, 2021).

3. Examinar el uso de herramientas de inteligencia artificial aplicadas a la logística farmacéutica, considerando experiencias nacionales e internacionales.

Este objetivo busca identificar las principales aplicaciones de la Inteligencia Artificial en la predicción de la demanda, la optimización de inventarios y la distribución de medicamentos. Diversos estudios han demostrado que los algoritmos mejoran la precisión de los pronósticos y reducen los errores en comparación con métodos tradicionales (McKinsey & Company, 2024). Sin embargo, en Colombia su adopción sigue siendo limitada (Ministerio de Salud y Protección Social, 2022; DNP, 2021).

4. Evaluar el impacto potencial de la implementación de la inteligencia artificial en la mejora de la eficiencia logística y en la reducción del desabastecimiento de medicamentos.

La evaluación del impacto permite determinar en qué medida la Inteligencia Artificial puede contribuir a mejorar indicadores clave como la disponibilidad de medicamentos, la reducción de costos y la optimización de recursos. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, la implementación de tecnologías basadas en Inteligencia Artificial en las cadenas de suministro puede reducir significativamente los quiebres de stock y mejorar la cobertura del sistema (WHO, 2021).

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS EN COLOMBIA

5. Proponer lineamientos estratégicos para la integración de herramientas de inteligencia artificial en la cadena logística de medicamentos en Colombia.

Este objetivo orienta la investigación hacia la formulación de propuestas aplicables al contexto colombiano, considerando factores tecnológicos, organizacionales y regulatorios. La literatura destaca que la adopción efectiva de la Inteligencia Artificial requiere no solo inversión tecnológica, sino también el fortalecimiento del talento humano y la gestión del cambio organizacional (Wamba et al., 2020).

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS EN COLOMBIA

Justificación

La presente investigación se justifica desde el ámbito académico por la necesidad de profundizar en la intersección entre la gestión de la cadena de suministro en salud y el uso de tecnologías emergentes, como la Inteligencia Artificial. Si bien diversos estudios y análisis organizacionales señalan que la Inteligencia Artificial tiene un impacto significativo en la optimización de las operaciones logísticas, su aplicación en contextos como el colombiano aún es limitada y poco documentada (McKinsey & Company, 2024). Esta brecha evidencia la necesidad de desarrollar estudios contextualizados que permitan comprender cómo estas tecnologías pueden adaptarse a las condiciones específicas del sistema de salud nacional. Asimismo, los modelos tradicionales de gestión logística, basados en enfoques como el Supply Chain Operations Reference (SCOR), han sido ampliamente utilizados para analizar y optimizar las cadenas de suministro; sin embargo, presentan limitaciones en entornos complejos y dinámicos, como el sector salud (APICS, 2017). En este sentido, la incorporación de herramientas de analítica avanzada y aprendizaje automático representa una evolución necesaria en el campo de estudio, lo que posiciona esta investigación como un aporte relevante para el desarrollo académico en áreas como la ingeniería, la logística y la gerencia de proyectos. Desde una perspectiva social, esta investigación cobra especial relevancia por el impacto directo del desabastecimiento de medicamentos en la salud y la calidad de vida de la población. El acceso oportuno a los medicamentos no solo es un componente esencial del sistema de salud, sino también un derecho fundamental reconocido en Colombia. Sin embargo, informes del Ministerio de Salud y Protección Social (2022) evidencian que una proporción significativa de las Entidades Promotoras de Salud presenta quiebres de stock recurrentes, lo que afecta la continuidad de los tratamientos, especialmente en pacientes con enfermedades crónicas o de alto costo.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS EN COLOMBIA

Adicionalmente, la Organización Mundial de la Salud señala que las ineficiencias en las cadenas de suministro de salud pueden generar consecuencias graves, como el aumento de la morbimortalidad y el deterioro de la confianza en los sistemas sanitarios (WHO, 2021). En el caso colombiano, estas problemáticas se ven agravadas por la dispersión geográfica del territorio y las desigualdades en el acceso a los servicios de salud, lo que hace aún más necesario el desarrollo de soluciones que mejoren la eficiencia logística y garanticen el acceso equitativo a los medicamentos. En este contexto, la implementación de herramientas de Inteligencia Artificial se presenta como una alternativa de alto potencial para mejorar la disponibilidad de medicamentos, reducir los tiempos de respuesta y fortalecer la capacidad del sistema para atender las necesidades de la población, contribuyendo así al bienestar social y a la equidad en salud. En el ámbito organizacional, la investigación se justifica por la necesidad de mejorar la eficiencia operativa de los actores del sistema de salud, incluidos las EPS, las IPS y los operadores logísticos. Las ineficiencias en la cadena de suministro farmacéutica generan pérdidas económicas significativas derivadas de vencimientos de medicamentos, sobreinventario y fallas en la distribución. El Departamento Nacional de Planeación (2021) estima que estas ineficiencias representan costos superiores a COP 1,2 billones anuales, lo que evidencia la magnitud del problema desde una perspectiva financiera. La adopción de tecnologías como la Inteligencia Artificial puede contribuir a optimizar la toma de decisiones, mejorar la planificación de la demanda y reducir los costos operativos, lo que genera ventajas competitivas para las organizaciones del sector salud (Chopra & Meindl, 2021). No obstante, la implementación de estas soluciones no depende únicamente de factores tecnológicos, sino también de aspectos organizacionales como la capacidad del talento humano, la cultura institucional y la gestión del cambio. De acuerdo con Wamba et al. (2020), una de las principales

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS EN COLOMBIA

barreras para la adopción de tecnologías emergentes en las cadenas de suministro es la resistencia al cambio organizacional, lo que resalta la importancia de abordar estas iniciativas con un enfoque integral. En este sentido, la presente investigación no solo aporta a la identificación de soluciones tecnológicas, sino también a la comprensión de los factores organizacionales que influyen en su implementación, lo cual resulta clave para el éxito de futuros proyectos de transformación digital en el sector salud.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS EN COLOMBIA

Marco Teórico

En el contexto de la logística de medicamentos, este análisis se sitúa en la intersección entre la gestión de la cadena de suministro, la analítica de datos y la transformación digital en el sector salud. Diversos autores coinciden en que la eficiencia de la cadena de suministro es un factor crítico para garantizar la disponibilidad de productos, especialmente en sistemas complejos como el sanitario (Chopra & Meindl, 2021). En este sentido, el presente marco teórico aborda los principales conceptos relacionados con la logística farmacéutica, la gestión de inventarios, el modelo SCOR y la aplicación de la inteligencia artificial para optimizar procesos logísticos.

- **Logística de medicamentos y cadena de suministro en salud**

La logística de medicamentos se refiere al conjunto de procesos relacionados con la planificación, adquisición, almacenamiento, distribución y control de los medicamentos en el sistema de salud. Su adecuada gestión es fundamental para garantizar la disponibilidad oportuna de los productos farmacéuticos y evitar interrupciones en los tratamientos médicos (WHO, 2021). En sistemas de salud como el colombiano, la cadena de suministro presenta una alta complejidad debido a la interacción de múltiples actores, como las Entidades Promotoras de Salud (EPS), las Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud (IPS) y los operadores logísticos. Esta fragmentación genera dificultades en la coordinación y en el flujo de información, lo que afecta negativamente la eficiencia del sistema (Ministerio de Salud y Protección Social, 2022). Además, factores como la dispersión geográfica y la variabilidad de la demanda incrementan la incertidumbre en la gestión logística, lo que hace necesario el uso de herramientas avanzadas de análisis y planificación.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS EN COLOMBIA

- **Gestión de inventarios y predicción de la demanda**

La gestión de inventarios es uno de los componentes más críticos de la cadena de suministro, ya que permite equilibrar la disponibilidad de productos con los costos asociados al almacenamiento. De acuerdo con Chopra y Meindl (2021), una gestión eficiente de inventarios debe considerar variables como la demanda, el tiempo de reposición y el nivel de servicio esperado. Tradicionalmente, la predicción de la demanda se ha realizado mediante métodos estadísticos, como los promedios móviles y los modelos de suavización exponencial. Sin embargo, estos enfoques presentan limitaciones en entornos caracterizados por alta variabilidad e incertidumbre, como el sector salud. Estudios recientes han demostrado que los modelos de aprendizaje automático, como redes neuronales, permiten mejorar significativamente la precisión de los pronósticos, al integrar múltiples variables y patrones complejos (McKinsey & Company, 2024). Esto resulta especialmente relevante en la logística farmacéutica, donde los errores de predicción pueden provocar desabastecimiento o sobreinventario.

- **Modelo SCOR (Supply Chain Operations Reference)**

El modelo SCOR (Supply Chain Operations Reference) es una herramienta de gestión desarrollada por el Supply Chain Council (actualmente parte de APICS) que permite analizar, evaluar y mejorar el desempeño de las cadenas de suministro. Este modelo estructura la cadena logística en cinco procesos principales: Planificar (Plan), Abastecer (Source), Producir (Make), Entregar (Deliver) y Devolver (Return) (APICS, 2017).

- Plan (Planificar): incluye la previsión de la demanda y la planificación de recursos.
- Source (Abastecer): se refiere a la adquisición de insumos o productos.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS EN COLOMBIA

- Make (Producir): corresponde a la transformación de materias primas en productos finales.

- Deliver (Entregar): abarca la distribución y la logística de la entrega.

- Return (Devolver): contempla la gestión de devoluciones y de productos defectuosos.

El modelo SCOR permite evaluar el desempeño de la cadena mediante indicadores clave como la confiabilidad, la capacidad de respuesta, la agilidad, los costos y la gestión de activos.

- **Análisis del modelo SCOR en la logística de medicamentos**

La aplicación del modelo SCOR en la logística de medicamentos permite identificar fallas en cada proceso de la cadena de suministro. En el caso colombiano, se evidencian debilidades principalmente en las fases de Planificación y Entrega, donde los errores en la predicción de la demanda y las dificultades en la distribución afectan la disponibilidad de medicamentos. Por ejemplo, una planificación inadecuada (Plan) genera errores en los pedidos, lo que impacta directamente en los niveles de inventario. A su vez, las fallas en la distribución (Deliver), derivadas de la dispersión geográfica y de la falta de infraestructura, dificultan el acceso a los medicamentos en zonas rurales. En este contexto, el modelo SCOR permite visualizar la cadena de suministro como un sistema integrado y facilita la identificación de puntos críticos de mejora. Aunque el modelo SCOR es una herramienta robusta para el análisis logístico, presenta limitaciones en entornos altamente dinámicos, ya que no incorpora explícitamente tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial. Por esta razón, su integración con herramientas de analítica avanzada resulta clave para mejorar su aplicabilidad en sistemas complejos como el de salud (Chopra & Meindl, 2021).

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS EN COLOMBIA

- **Inteligencia Artificial en la logística farmacéutica**

La Inteligencia Artificial se define como el conjunto de técnicas que permiten a las máquinas aprender a partir de los datos y tomar decisiones de manera autónoma o asistida. En el contexto de la logística, la Inteligencia Artificial se ha consolidado como una herramienta clave para optimizar procesos como la predicción de la demanda, la gestión de inventarios y la planificación de rutas de distribución (Russell & Norvig, 2021). En la logística farmacéutica, el uso de algoritmos de aprendizaje automático ha demostrado mejorar significativamente la precisión en la predicción de la demanda, reduciendo los errores y optimizando los niveles de inventario. De acuerdo con McKinsey & Company (2022), la implementación de modelos de machine learning puede reducir los errores de pronóstico hasta un 30 % en comparación con métodos tradicionales, asimismo, destacan que la Inteligencia Artificial permite integrar variables complejas, como factores epidemiológicos y demográficos, lo que mejora la capacidad de respuesta del sistema. No obstante, la adopción de estas tecnologías en contextos como el colombiano enfrenta desafíos relacionados con la capacidad tecnológica, la disponibilidad de datos y la resistencia al cambio organizacional. Según Wamba et al. (2020), la transformación digital en las cadenas de suministro requiere no solo inversión en tecnología, sino también cambios en la cultura organizacional y en las capacidades del talento humano.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS EN COLOMBIA

Metodología

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque mixto (cuantitativo y cualitativo), ya que busca analizar variables técnicas mediante indicadores medibles y complementar los hallazgos con análisis documental y revisión sistemática de literatura. El componente cuantitativo permite establecer relaciones entre variables y evaluar el impacto potencial de la implementación de herramientas de inteligencia artificial en la cadena de suministro mediante indicadores como la tasa de desabastecimiento, el error de pronóstico y los niveles de inventario. Por su parte, el componente cualitativo permite interpretar factores contextuales y organizacionales, como la capacidad tecnológica, la cultura institucional y las barreras para la adopción de tecnologías avanzadas, proporcionando una comprensión integral del fenómeno estudiado (Hernández Sampieri et al., 2014).

En cuanto al alcance, el estudio es de tipo descriptivo y explicativo. Es descriptivo porque caracteriza el estado actual del sistema logístico farmacéutico, identificando sus principales problemáticas, y explicativo porque busca determinar las causas del desabastecimiento y analizar cómo la implementación de tecnologías avanzadas puede contribuir a su solución (Bernal, 2016). Este enfoque es adecuado para investigaciones que buscan comprender fenómenos complejos y proponer mejoras en sistemas organizacionales. La población objeto de estudio está conformada por los actores que intervienen en la cadena logística de medicamentos en Colombia, incluyendo Entidades Promotoras de Salud (EPS), Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud (IPS) y operadores logísticos farmacéuticos. Estos actores son responsables de la planificación, el almacenamiento y la distribución de medicamentos, y su desempeño influye directamente en la eficiencia del sistema (Ministerio de Salud y Protección Social, 2022).

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS EN COLOMBIA

Dado el alcance de la investigación, se plantea una muestra no probabilística de tipo intencional, seleccionando organizaciones y casos representativos que presenten problemáticas asociadas al desabastecimiento de medicamentos. Este tipo de muestreo es pertinente en estudios aplicados, en los que se busca profundizar en contextos específicos y obtener información relevante para el análisis del fenómeno (Hernández Sampieri et al., 2014). Las variables de la investigación se clasifican en **independientes y dependientes**, así como en técnicas y contextuales, según su papel en el fenómeno analizado.

- Variable dependiente:

- o Eficiencia de la logística de medicamentos, medida mediante indicadores como la disponibilidad de medicamentos y la tasa de desabastecimiento.

- Variables independientes técnicas:

- o Error de pronóstico de la demanda

- o Nivel de inventario

- o Tiempo de reposición

- o Trazabilidad

- o Uso de herramientas de inteligencia artificial

- Variables independientes contextuales:

- o Variabilidad epidemiológica

- o Dispersión geográfica

- o Capacidad tecnológica

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS EN COLOMBIA

o Cultura organizacional

o Regulación del sistema de salud

El análisis de estas variables permite comprender la complejidad del sistema y establecer relaciones entre los factores que inciden en el desabastecimiento (Chopra & Meindl, 2021).

VARIABLES TÉCNICAS

Tabla 1

Variables técnicas de la investigación

Variable técnica	Definición operacional	Papel en el problema
Tasa de desabastecimiento (stockout rate)	Porcentaje de medicamentos no disponibles cuando son requeridos por los usuarios.	Principal indicador del problema; refleja directamente las fallas en la cadena de suministro (MINSALUD, 2022).
Error de pronóstico de demanda (MAPE)	Diferencia porcentual entre la demanda estimada y la real.	Causa técnica central del desabastecimiento: una baja precisión genera pedidos mal dimensionados (McKinsey & Company, 2022).
Nivel de inventario	Cantidad de medicamentos almacenados en cada nodo de la cadena.	Influye en el equilibrio entre disponibilidad y costos; niveles inadecuados generan sobrestock o escasez (Chopra & Meindl, 2021).
Inventario de seguridad	Stock mínimo destinado a cubrir variaciones inesperadas en la demanda o en el suministro.	Su mala calibración incrementa el riesgo de vencimientos o de desabastecimiento.
Tiempo de reposición (lead time)	Tiempo entre la solicitud de medicamentos y su entrega efectiva.	Los plazos largos o variables afectan la capacidad de respuesta del sistema logístico.
Trazabilidad en tiempo real	Capacidad para monitorear en tiempo real los inventarios y los movimientos de medicamentos.	Su ausencia limita la toma oportuna de decisiones y dificulta la identificación de riesgos (WHO, 2021).
Precisión de modelos de Inteligencia Artificial	Capacidad de los algoritmos para predecir con precisión la demanda.	Variable que puede mejorar significativamente el desempeño del sistema al reducir los errores de planificación (McKinsey & Company, 2024).
Tasa de vencimiento	Porcentaje de medicamentos que caducan antes de ser dispensados.	Representa las pérdidas económicas derivadas de la mala gestión de inventarios (DNP, 2021).

Nota. Elaboración propia con base en la revisión de la literatura.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS EN COLOMBIA

Variables contextuales

Tabla 2

Variables contextuales de la investigación.

Variable contextual	Definición	Papel en el problema
Variabilidad epidemiológica	Cambios en la incidencia de enfermedades en la población.	Genera fluctuaciones impredecibles en la demanda de medicamentos (McKinsey & Company, 2024).
Dispersión geográfica	Condiciones del territorio colombiano y el acceso a zonas rurales y remotas.	Incrementa la complejidad logística y los costos de distribución (DNP, 2021).
Capacidad tecnológica	Nivel de digitalización e infraestructura tecnológica de los actores del sistema.	Limita la implementación de herramientas de Inteligencia Artificial y de analítica avanzada (Ministerio de Salud y Protección Social, 2022; DNP, 2021).
Dependencia de procesos manuales	Uso de métodos tradicionales en la gestión logística.	Genera errores, retrasos y una baja capacidad de respuesta ante cambios en la demanda.
Descoordinación interinstitucional	Falta de integración entre EPS, IPS y operadores logísticos.	Impide la visibilidad completa de la cadena y dificulta la toma de decisiones.
Capacidad del talento humano	Nivel de formación en analítica y en gestión logística avanzada.	Condiciona la adopción y el uso efectivo de tecnologías avanzadas.
Marco regulatorio	Normas que regulan el sistema de salud y el manejo de medicamentos.	Puede facilitar o limitar la implementación de soluciones tecnológicas (MINSALUD, 2022).
Cultura organizacional	Actitud de los actores del sistema ante la innovación y el cambio.	La resistencia al cambio es una de las principales barreras para la implementación de la Inteligencia Artificial (Wamba et al., 2020).

Nota. Elaboración propia con base en la revisión de la literatura.

Instrumentos y técnicas de recolección de datos

Instrumentos de recolección

Para la recolección de información se utilizarán principalmente fuentes secundarias, como informes institucionales, bases de datos del sector salud, artículos científicos y documentos oficiales. Estos instrumentos permiten obtener información confiable y contextualizada sobre la problemática del desabastecimiento de medicamentos (DNP, 2021; WHO, 2021).

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS EN COLOMBIA

Tabla 3

Instrumentos de recolección de información.

Instrumento	Descripción	Campos principales
1. Matriz de extracción de indicadores institucionales	Tabla para extraer datos cuantitativos de fuentes oficiales (MINSALUD, DNP, INVIMA, DANE).	Entidad, año, indicador, valor, unidad de medida, cobertura geográfica, observaciones metodológicas.
2. Matriz de revisión bibliográfica	Ficha para sistematizar cada artículo científico revisado.	Autor, año, herramienta de Inteligencia Artificial, contexto geográfico, MAPE reportado, reducción de stock-out, aplicabilidad al caso colombiano.
3. Tabla de benchmarking internacional	Instrumento comparativo de experiencias de implementación de la Inteligencia Artificial en la logística farmacéutica en otros países.	País, tipo de sistema de salud, herramienta implementada, escala, resultados obtenidos, barreras y factores de éxito.
4. Ficha de análisis de política pública	Formato para revisar documentos normativos e institucionales colombianos.	Entidad emisora, tipo de documento, objetivos declarados, recursos asignados, grado de alineación con la propuesta de Inteligencia Artificial.

Nota. Elaboración propia

Técnicas de recolección

Componente cuantitativo. Se aplican dos técnicas:

1. análisis documental de fuentes secundarias institucionales, mediante la extracción sistemática de indicadores de desempeño logístico a partir de portales oficiales del MINSALUD, DNP, INVIMA y DANE;
2. Análisis comparativo del desempeño de modelos, mediante la sistematización de los datos de MAPE y de la reducción de quiebres de stock reportados en estudios empíricos internacionales que han implementado machine learning en logística farmacéutica.

Componente cualitativo. Se aplican dos técnicas:

1. revisión sistemática de la literatura en bases de datos como Scopus, Web of Science, PubMed y Google Scholar, con términos de búsqueda en español e inglés.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS EN COLOMBIA

2. Análisis de documentos de política pública, revisando el Plan de Transformación Digital en Salud 2022–2026, el CONPES 3975 de 2019 y los planes sectoriales del DNP relacionados con el sistema de salud.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS EN COLOMBIA

Procedimiento

El procedimiento de recolección y análisis se organiza en cuatro etapas secuenciales:

Etapa	Actividad principal	Semanas	Instrumento
1. búsqueda y selección	Búsqueda, filtrado y selección de fuentes (protocolo PRISMA). Uso de Zotero para deduplicación.	1 a 3	Diagrama PRISMA
2. Extracción cuantitativa	Extracción de indicadores institucionales y de datos de desempeño de modelos de Inteligencia Artificial.	4 a 6	Instrumentos 1 y 2
3. Análisis cualitativo	Análisis de documentos de política pública y construcción del benchmarking internacional (mínimo 5 experiencias).	5 a 7	Instrumentos 3 y 4
4. Integración y análisis final	Análisis integrado (triangulación), contraste cuantitativo-cualitativo y formulación de lineamientos.	8 a 10	Todos los instrumentos

Restricción técnica: dado que no se cuenta con acceso directo a los sistemas de información operativos de las EPS ni a los operadores logísticos, todos los datos se obtienen de fuentes secundarias publicadas, lo cual se documenta como una limitación del estudio.

Validación de instrumentos

Los cuatro instrumentos documentales se someten a tres mecanismos de validación. Primero, revisión por pares: el docente del Seminario de Investigación y un profesional con experiencia en logística farmacéutica evalúan la pertinencia, la suficiencia y la claridad de cada instrumento, y sus observaciones se incorporan antes de iniciar la recolección formal.

Segundo, prueba piloto con una muestra pequeña: cinco artículos científicos para los Instrumentos 1 y 2, y dos documentos de política para el Instrumento 4, con el fin de detectar campos redundantes o categorías ambiguas.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS EN COLOMBIA

Tercero, confiabilidad entre codificadores en el componente cualitativo: el investigador y el docente clasifican de manera independiente el 20 % de los artículos incluidos y se mide el acuerdo mediante el índice Kappa de Cohen (valor aceptable: $\geq 0,70$) (Landis & Koch, 1977).

Plan de análisis

El plan de análisis integra técnicas estadísticas e interpretativas, siguiendo el diseño convergente adoptado.

Componente cuantitativo:

1. Estadística descriptiva: media, mediana, desviación estándar, mínimo y máximo de cada variable técnica, para caracterizar el estado actual del sistema y compararlo con referentes internacionales.
2. Análisis de correlación de Spearman entre las variables independientes y la variable dependiente (tasa de desabastecimiento), para identificar cuáles tienen mayor incidencia. Se usa Spearman porque los datos secundarios disponibles no necesariamente siguen una distribución normal ($p < 0,05$).
3. Benchmarking cuantitativo: tabla comparativa del MAPE y de la reducción de quiebres de stock de los modelos de Inteligencia Artificial revisados frente a los métodos tradicionales, con el cálculo del efecto promedio ponderado por el tamaño de la muestra.

Componente cualitativo:

1. Análisis temático siguiendo los seis pasos de Braun y Clarke (2006): familiarización, codificación inicial, identificación de temas, revisión, definición y redacción. Los

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS EN COLOMBIA

- temas se organizan en tres categorías: barreras para la adopción de la Inteligencia Artificial, factores habilitantes y lecciones aplicables al contexto colombiano.
2. Codificación abierta y axial de documentos de política pública, para detectar alineaciones y brechas entre el marco institucional y los requerimientos de implementación de Inteligencia Artificial.

Integración (triangulación convergente): Los resultados de ambos componentes se contrastan para identificar convergencias y divergencias. El producto final es una matriz de lineamientos estratégicos que vincula cada hallazgo con una recomendación concreta.

Objetivo específico	Técnica de análisis	Instrumento asociado	Producto del análisis
OE1. Caracterizar estado actual	Estadística descriptiva	Instrumento 1	Tabla de indicadores actuales del sistema
OE2. Analizar relaciones entre variables	Correlación de Spearman	Instrumentos 1 y 2	Matriz de correlaciones y factores incidentes
OE3. Comparar IA vs. métodos tradicionales	Benchmarking cuantitativo + análisis temático	Instrumentos 2 y 3	Tabla comparativa de desempeño de modelos
OE4. Proponer lineamientos	Triangulación convergente	Todos los instrumentos	Matriz de lineamientos estratégicos

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS EN COLOMBIA

Diagnóstico

El análisis de la cadena logística de medicamentos en Colombia evidencia fallas estructurales que afectan la eficiencia del sistema y limitan el acceso oportuno a los medicamentos. Estas fallas se manifiestan principalmente en quiebres de stock, sobreinventarios, retrasos en la distribución y pérdidas económicas, lo que refleja una gestión ineficiente de los recursos disponibles. Según el MINSALUD (2022), estas problemáticas son recurrentes en distintos niveles del sistema y afectan especialmente a las poblaciones ubicadas en zonas rurales y de difícil acceso.

Brechas técnicas:

Desde una perspectiva técnica, uno de los principales factores que inciden en el problema es la baja precisión en la predicción de la demanda. Los métodos tradicionales utilizados en la planificación logística no logran capturar la variabilidad epidemiológica ni las dinámicas del consumo de medicamentos, lo que genera errores en los pedidos y desajustes en los niveles de inventario (McKinsey & Company, 2024). Como resultado, se presentan simultáneamente situaciones de desabastecimiento en algunos puntos de la cadena y de sobreabastecimiento en otros, lo que evidencia una falta de sincronización en el sistema. La ausencia de sistemas de trazabilidad en tiempo real agrava el problema: sin visibilidad del estado del inventario en cada nodo, las decisiones de reabastecimiento se toman con información incompleta o desactualizada, lo que aumenta el riesgo de pérdidas y de vencimientos (WHO, 2021).

Brechas operativas e institucionales:

En el ámbito operativo, se observa una integración limitada entre los actores de la cadena de suministro, lo que dificulta el flujo de información y la coordinación de procesos. La

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS EN COLOMBIA

fragmentación entre EPS, IPS y operadores logísticos impide contar con una visión integral del sistema, lo que afecta la toma de decisiones y reduce la capacidad de respuesta ante cambios en la demanda (Chopra & Meindl, 2021). El DNP (2021) señala que la dispersión geográfica del territorio colombiano y las desigualdades en la infraestructura tecnológica generan sobrecostos en la distribución y dificultan la cobertura en zonas apartadas, lo que agrava las problemáticas de acceso a los medicamentos.

Brecha tecnológica:

Desde una perspectiva organizacional, se evidencia una baja adopción de tecnologías avanzadas, como la inteligencia artificial, así como una resistencia al cambio en algunas instituciones del sector salud. (Ministerio de Salud y Protección Social, 2022; DNP, 2021). Reporta que menos del 8 % de los actores de la cadena logística farmacéutica colombiana utilizan herramientas de analíticas avanzadas. De acuerdo con Wamba et al. (2020), la transformación digital en las cadenas de suministro requiere no solo inversión tecnológica, sino también el desarrollo de capacidades del talento humano y la implementación de estrategias de gestión del cambio.

Tabla 4

Diagnóstico comparativo de la cadena logística farmacéutica en Colombia.

Variable	Colombia hoy	Referencia internacional	Brecha
Tasa de quiebre de stock (EPS)	25 % mensual	< 5 % (países OCDE)	Alta
Adopción de analítica avanzada	Adopción de analítica avanzada: información limitada o en proceso de caracterización.	> 30 % (LATAM líder)	Alta
Pérdidas anuales por ineficiencias	COP 1,2 billones/año	< 0,5 % del gasto en salud	Alta
Municipios de difícil acceso	> 400 municipios	Variable por país	Contexto único

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS EN COLOMBIA

Variable	Colombia hoy	Referencia internacional	Brecha
Error de pronóstico (MAPE)	No sistematizado	15–25 % con ML	Sin medición oficial

Nota. Elaboración propia con base en Ministerio de Salud y Protección Social (2022), DNP (2021) y WHO (2021).

En síntesis, el diagnóstico evidencia que la problemática del desabastecimiento de medicamentos en Colombia es sistémica y multifactorial, resultado de la interacción entre variables técnicas, operativas y contextuales. Esta situación demanda la implementación de soluciones integrales que mejoren la eficiencia logística y fortalezcan la capacidad del sistema de salud para responder a las necesidades de la población.

Adicionalmente, se contempla el uso de **matrices de análisis documental** para sistematizar la información recopilada, así como de herramientas de análisis de datos que permitan identificar patrones y relaciones entre las variables. Este tipo de instrumentos es ampliamente utilizado en investigaciones de carácter aplicado y permite estructurar el análisis de manera rigurosa (Bernal, 2016).

El análisis de la información se realizará mediante técnicas **de estadística descriptiva y correlacional**, con el fin de identificar tendencias, patrones y relaciones entre las variables estudiadas. El análisis descriptivo permitirá caracterizar el comportamiento de los indicadores clave, mientras que el análisis correlacional facilitará la identificación de relaciones entre variables, como el error de pronóstico y la tasa de desabastecimiento (Hernández Sampieri et al., 2014).

Asimismo, se empleará el **análisis comparativo**, contrastando el desempeño de modelos tradicionales de predicción con el de modelos basados en inteligencia artificial, de acuerdo con lo planteado en diversos estudios y análisis organizacionales (McKinsey & Company, 2024).

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS EN COLOMBIA

Esta técnica permitirá evaluar el impacto potencial de la implementación de la Inteligencia Artificial en la mejora de la eficiencia logística.

A partir del planteamiento del problema y el análisis de la literatura, se formula la siguiente hipótesis de investigación:

Hipótesis general:

La implementación de herramientas de inteligencia artificial en la logística de medicamentos en Colombia mejora significativamente la eficiencia del sistema, reduciendo la tasa de desabastecimiento y optimizando la gestión de inventarios.

Esta hipótesis se sustenta en estudios y análisis organizacionales que evidencian que los modelos de aprendizaje automático mejoran la precisión de la predicción de la demanda y optimizan la toma de decisiones en cadenas de suministro complejas (McKinsey & Company, 2024). Asimismo, la Organización Mundial de la Salud destaca el potencial de las tecnologías digitales para mejorar la eficiencia de los sistemas de salud (WHO, 2021).

Tabla 5

Articulación entre objetivos, técnicas e instrumentos.

Objetivo específico	Técnica de análisis	Instrumento	Producto esperado
OE1. Caracterizar estado actual	Estadística descriptiva	Instrumento 1	Tabla de indicadores actuales del sistema
OE2. Analizar relaciones entre variables	Correlación de Spearman	Instrumentos 1 y 2	Matriz de correlaciones y factores incidentes
OE3. Comparar Inteligencia Artificial vs. métodos tradicionales	Benchmarking cuantitativo + análisis temático	Instrumentos 2 y 3	Tabla comparativa de desempeño de modelos
OE4. Proponer lineamientos	Triangulación convergente	Todos los instrumentos	Matriz de lineamientos estratégicos

Nota. Elaboración propia.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS EN COLOMBIA

Conclusiones

Con base en el diagnóstico y la revisión de literatura realizados hasta este punto, se presentan las siguientes conclusiones preliminares:

Primera. La cadena logística de medicamentos en Colombia presenta fallas estructurales multidimensionales que no pueden resolverse mediante intervenciones tecnológicas aisladas. El desabastecimiento es el resultado predecible de un sistema que planea mal la demanda, opera con sistemas de información desconectados y carece de las capacidades analíticas necesarias para gestionar su propia complejidad.

Segunda. La evidencia empírica internacional demuestra que las herramientas de Inteligencia Artificial tienen el potencial técnico para transformar la logística farmacéutica. Modelos de machine learning, reducen el error de pronóstico hasta en un 38 % y los quiebres de stock entre un 30 % y un 45 % en las cadenas de suministro de salud pública (WHO, 2021).

Tercera. La transferibilidad de estas experiencias al contexto colombiano es posible, pero requiere condiciones habilitantes previas: infraestructura de datos de calidad, gobernanza interinstitucional para la integración de sistemas de información y estrategias de gestión del cambio que superen la resistencia organizacional. Sin estos cimientos, cualquier implementación tecnológica tendrá un alcance limitado.

Cuarta. Colombia cuenta con activos institucionales valiosos, el sistema de trazabilidad del INVIMA, el Plan de Transformación Digital en Salud del MINSALUD (2020-2022) y el CONPES 3975 de 2019, que ofrecen una base para articular una estrategia nacional de adopción de Inteligencia Artificial en la logística farmacéutica. La coordinación entre estas iniciativas, bajo un liderazgo institucional claro, es determinante para el éxito de la transformación propuesta.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS EN COLOMBIA

Recomendaciones

Para los actores del sistema de salud

- Priorizar la inversión en infraestructura de datos como condición previa para la adopción de herramientas de Inteligencia Artificial. Sin datos de calidad, los modelos predictivos no pueden generar resultados confiables.
- Avanzar hacia la interoperabilidad de los sistemas de información entre EPS, IPS e INVIMA, aprovechando el marco habilitante del CONPES 3975 de 2019 y el Plan de Transformación Digital en Salud 2022–2026.
- Implementar un programa de formación en analítica de datos y gestión de cadenas de suministro basada en Inteligencia Artificial, dirigido a los equipos operativos de las organizaciones del sector, para superar la brecha de capacidades del talento humano.

Para los operadores logísticos farmacéuticos

- Iniciar la adopción de herramientas de predicción de demanda basadas en machine learning en un entorno piloto controlado, aprovechando los datos históricos de consumo ya disponibles en los sistemas de trazabilidad actuales.
- Incorporar variables epidemiológicas regionales, incidencia de dengue, malaria, leishmaniasis y otras enfermedades con demanda estacional identificable, en los modelos de pronóstico para mejorar su precisión en el contexto colombiano.
- Adoptar algoritmos de optimización de rutas de distribución que consideren las condiciones específicas de accesibilidad geográfica de cada municipio y prioricen las zonas con mayor índice histórico de desabastecimiento.

Para futuras investigaciones

- Desarrollar estudios primarios que midan con precisión las variables técnicas de la cadena logística farmacéutica colombiana, especialmente el MAPE real de los métodos actuales,

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS EN COLOMBIA

para contar con una línea base rigurosa que permita evaluar el impacto de las intervenciones.

- Realizar proyectos piloto de implementación de Inteligencia Artificial en operadores logísticos del sector salud colombiano, generando evidencia local que valide o ajuste los resultados obtenidos en experiencias internacionales.
- Analizar el impacto diferenciado de la implementación de la Inteligencia Artificial en la logística farmacéutica según el perfil del municipio (urbano, intermedio, rural disperso), dado que las condiciones de accesibilidad geográfica determinan en gran medida los resultados operativos.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS EN COLOMBIA

Declaración de uso de herramientas de inteligencia artificial

Para el desarrollo del presente trabajo se utilizaron herramientas de inteligencia artificial como apoyo en procesos de redacción, organización de ideas, mejora de estilo académico y estructuración del documento.

El proceso investigativo, análisis de la información, elaboración de conclusiones, construcción metodológica y validación del contenido fueron realizados por el autor del trabajo.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS EN COLOMBIA

Referencias

APICS. (2017). *SCOR Digital Standard: Supply Chain Operations Reference Model*. APICS.

Bernal, C. A. (2016). *Metodología de la investigación: Administración, economía, humanidades y ciencias sociales* (4.ª ed.). Pearson.

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>

Chopra, S., & Meindl, P. (2021). *Supply chain management: Strategy, planning, and operation* (7th ed.). Pearson.

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2021). *Análisis de la eficiencia del gasto en salud en Colombia*. Departamento Nacional de Planeación.

Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill Education.

Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1), 159–174.

McKinsey & Company. (2022, Febrero 15). AI-driven operations forecasting in data-light environments. McKinsey & Company. <https://goo.su/YhSLni>

McKinsey & Company. (2024, November 15). Harnessing the power of AI in distribution operations. McKinsey & Company. <https://goo.su/fai7sM5>

Ministerio de Salud y Protección Social. (2022). *Informe sobre desabastecimiento y disponibilidad de medicamentos en Colombia*. Ministerio de Salud y Protección Social.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS EN COLOMBIA

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, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

Russell, S., & Norvig, P. (2021). *Artificial intelligence: A modern approach* (4th ed.). Pearson.

Wamba, S. F., Gunasekaran, A., Akter, S., Ren, S. J. F., Dubey, R., & Childe, S. J. (2017). Big data analytics and firm performance: Effects of dynamic capabilities. *Journal of Business Research*, 70, 356–365. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2016.08.009>

World Health Organization. (2021). *Global strategy on digital health 2020–2025*. World Health Organization.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOGÍSTICA DE MEDICAMENTOS EN COLOMBIA

Anexos

Anexo A. Protocolo de búsqueda bibliográfica (PRISMA)

La selección de la literatura académica siguió el protocolo PRISMA 2020 (Page et al., 2021). Los términos de búsqueda utilizados en las bases de datos Scopus, Web of Science, PubMed y Google Scholar fueron los siguientes:

- En inglés: machine learning pharmaceutical supply chain; demand forecasting healthcare; AI inventory optimization health; reinforcement learning pharmaceutical logistics.
- En español: inteligencia artificial logística de medicamentos; predicción de la demanda farmacéutica en Colombia; optimización de inventarios en salud en Colombia; cadena de suministro de medicamentos con aprendizaje automático.

Criterios de inclusión: publicaciones arbitradas entre 2018 y 2024, con metodología explícita, resultados medibles relacionados con la logística farmacéutica o las cadenas de suministro en salud, y acceso al texto completo. Criterios de exclusión: artículos de opinión sin soporte empírico, publicaciones anteriores a 2018 y estudios en sectores no relacionados con la salud ni con la farmacéutica.

Anexo B. Estructura de la Matriz de extracción de indicadores institucionales

Fuente	Año	Indicador	Valor	Unidad	Observaciones
MINSALUD	2022	Tasa de quiebre de stock	25 %	% EPS/mes	Medicamentos de alto costo
DNP	2021	Pérdidas por ineficiencias	COP 1,2 Bill.	Billones/año	Vencimientos y sobrestock
INVIMA	2023	Cobertura trazabilidad	Por determinar	% medicamentos	Sistema VITAL

Nota. Estructura de ejemplo; los valores se completarán durante la fase de recolección de datos. Elaboración propia.