

Caracterización de la cadena de suministro del sector salud en Bucaramanga y su área metropolitana: una perspectiva desde la investigación de operaciones

Laura Camila Carvajal Martínez

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniera Industrial

Director

Edgar Eduardo Córdoba Sarmiento

Magister en Ingeniería Industrial

Codirector

Javier Eduardo Arias Osorio

Magister en Administración

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Estudios Industriales y Empresariales

2026

Agradecimientos

Agradezco profundamente a mi mamá, por su apoyo incondicional y por ser el pilar fundamental en mi vida. Todo lo que he logrado ha sido gracias a su amor y esfuerzo.

A mi hermana, por ser un ejemplo constante, y a mis amigos, por su acompañamiento durante este proceso.

A todas las personas que hicieron de esta etapa fuera de casa una experiencia más llevadera, y a quien la hizo aún más especial con su compañía.

Agradezco al grupo de investigación OPALO y a la Universidad Industrial de Santander por las oportunidades brindadas. En especial, a mis directores Edgar y Javier por su apoyo y por el respaldo constante.

Tabla de Contenido

INTRODUCCIÓN	12
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.GENERALIDADES DEL PROYECTO	14
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.2 OBJETIVOS	16
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	16
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.3 RESULTADOS ESPERADOS	16
1.4 METODOLOGÍA.....	16
1.5 REVISIÓN DE LITERATURA SOBRE LA CADENA DE SUMINISTRO DEL SECTOR SALUD.	17
1.6 IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS CRÍTICOS.....	18
1.7. DEFINICIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO EN BUCARAMANGA Y SU ÁREA METROPOLITANA.....	18
1.8 SÍNTESIS DE RESULTADOS.....	19
2.MARCO REFERENCIAL.....	19
2.1 MARCO DE ANTECEDENTES	19
2.2 MARCO LEGAL.....	22
3.REVISIÓN DE LITERATURA.....	24
3.1 ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO.....	24
3.2 AÑO DE PUBLICACIÓN.....	27
3.3 REGIONES/PAÍSES DE PUBLICACIÓN.....	28
3.4 PRINCIPALES AUTORES.....	30
3.5 ÁREAS DE INVESTIGACIÓN.....	31
3.6 ANÁLISIS DE PALABRAS CLAVE.....	32
3.7 GLOSARIO.....	33
3.8 ANÁLISIS DE LITERATURA.....	33
4.DEFINICIÓN DE CADENA DE SUMINISTRO DEL SECTOR SALUD.....	38
4.1 CADENA DE SUMINISTRO DE LA SANGRE (BSC).....	38
4.2 CADENA DE SUMINISTRO FARMACÉUTICA Y MEDICAMENTOS (PSCM).....	43
4.3 CADENA DE SUMINISTRO HOSPITALARIA (CSH-H).....	47
4.4 RELACIONES ENTRE ACTORES	52
5.IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS CRÍTICOS.....	53
5.1 PROBLEMAS DE COORDINACIÓN Y VISIBILIDAD EN REDES MULTI-ACTOR.....	54
5.2 INEFICIENCIAS EN LA GESTIÓN Y CLASIFICACIÓN DE INVENTARIOS HOSPITALARIOS	55
5.3 PROBLEMAS COMPLEJOS DE RUTEO Y DISTRIBUCIÓN BAJO RESTRICCIONES SANITARIAS	57

6.CADENA DE SUMINISTRO DEL SECTOR SALUD EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.....	60
6.1 MARCO DE REFERENCIA.....	61
6.2 CARACTERIZACIÓN DEMOGRÁFICA DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.....	62
6.3 IDENTIFICACIÓN DE ACTORES DEL SISTEMA DE SALUD	63
7.CONCLUSIONES Y PUNTOS CLAVE	86
8.RECOMENDACIONES.....	89
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91

Lista de tablas

Tabla 1: Cumplimiento de objetivos.....	14
Tabla 2: Definición de la cadena de suministro.....	35
Tabla 3: Problemas encontrados en literatura.....	60
Tabla 4: Distribución de afiliados al SGSSS por EPS en Bucaramanga	69
Tabla 5: Instituciones prestadoras de servicios de salud en el AMB	73
Tabla 6: Distribución porcentual de prestadores por tipo de institución	75
Tabla 7: Distribución de la muestra de IPS en el Área Metropolitana de Bucaramanga	76
Tabla 8: Comparación de actores teóricos con los actores del AMB.....	83

Lista de Figuras

Figura 1 Tesoros clave	26
Figura 2 Flujograma de la revisión de literatura.....	27
Figura 3 Publicaciones por año.	29
Figura 4 Distribución de publicaciones.....	30
Figura 5 Distribución de publicaciones por países.....	30
Figura 6 Publicaciones por autor.....	31
Figura 7 Distribución de publicaciones por área de estudio.....	33
Figura 8 Análisis de relación de palabras clave.....	34
Figura 9 Cadena de suministro del sector salud.	37
Figura 10 Cadena de suministro del sector salud.	54
Figura 11 Población del Area metropolitana de Bucaramanga.....	63
Figura 12 Estructura jerárquica de las autoridades de regulación en el AMB.....	67
Figura 13 Mapa de calor de las EPS en el Área Metropolitana de Bucaramanga	71
Figura 14 Mapa de calor de las EPS en Bucaramanga	72
Figura 15 Distribución de instituciones prestadoras de servicios de salud en el AMB	74
Figura 16 Mapa de calor de las IPS en el Área Metropolitana de Bucaramanga.....	77
Figura 17 Mapa de calor de sangre en el Área Metropolitana de Bucaramanga	79
Figura 18 Mapa de calor de medicamentos en el Área Metropolitana de Bucaramanga.....	82

Lista de apéndices

Se podrán encontrar los apéndices adjuntos a:

Apéndice_A IPS AMB

Ápendice_B Localización actores

Ápendice_C Artículo

Glosario

- **SCH (Healthcare Supply Chain):** Cadena de suministro del sector salud. Hace referencia al conjunto de actores, procesos y flujos de información, recursos y servicios involucrados en la prestación de servicios de salud.

- **BSC (Blood Supply Chain):** Cadena de suministro de sangre. Incluye los procesos de donación, recolección, procesamiento, almacenamiento y distribución de sangre y sus derivados hasta el paciente final.

- **PSCM (Pharmaceutical Supply Chain Management):** Cadena de suministro farmacéutica y de medicamentos. Abarca la producción, distribución y dispensación de medicamentos e insumos médicos dentro del sistema de salud.

- **CSH-H (Hospital Supply Chain):** Cadena de suministro hospitalaria. Comprende la gestión interna de recursos dentro de hospitales e instituciones de salud, incluyendo insumos, equipos y servicios necesarios para la atención.

- **GPO (Group Purchasing Organizations):** Organizaciones de compras grupales. Son entidades que consolidan la demanda de múltiples instituciones de salud para negociar mejores condiciones de adquisición con proveedores.

- **VRP (Vehicle Routing Problem):** Problema de ruteo de vehículos. Modelo de optimización que busca determinar rutas eficientes para la distribución de productos considerando restricciones operativas.

- **VRPTW (Vehicle Routing Problem with Time Windows):** Problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo. Variante del VRP que incorpora restricciones de horarios específicos para la entrega o atención.

- **MILP (Mixed Integer Linear Programming):** Programación lineal entera mixta. Técnica de optimización utilizada para resolver problemas de localización, asignación y diseño de redes logísticas.

- **SALSA (Search, Appraisal, Synthesis and Analysis):** Metodología de revisión de literatura que comprende las fases de búsqueda, evaluación, síntesis y análisis.

- **SGSSS:** Sistema General de Seguridad Social en Salud. Estructura que organiza la prestación de servicios de salud en Colombia.

Resumen

Título del proyecto: Caracterización de la cadena de suministro del sector salud en Bucaramanga y su área metropolitana: una perspectiva desde la investigación de operaciones

Autor: Laura Camila Carvajal Martinez

Palabras clave: Cadena de suministro en salud, investigación de operaciones, red de servicios de salud, localización de servicios, logística sanitaria, optimización, área metropolitana de Bucaramanga

Descripción: La dinámica de la cadena de suministro del sector salud involucra la interacción de múltiples actores, incluyendo entidades de aseguramiento, instituciones prestadoras de servicios de salud, distribuidores de medicamentos, bancos de sangre y pacientes, los cuales se articulan a través de flujos de información, servicios y recursos. Desde la literatura, esta cadena se describe como un sistema estructurado e integrado, en el cual existen mecanismos de coordinación que permiten optimizar la asignación de recursos y mejorar la eficiencia del sistema.

Partiendo de este contexto, el presente trabajo se centra en la caracterización de la cadena de suministro del sector salud en Bucaramanga y su área metropolitana, abordándola desde la perspectiva de la investigación de operaciones. Para ello, se identifican los principales actores del sistema y se analiza su localización y distribución en el territorio, utilizando herramientas de análisis geográfico que permiten evidenciar patrones de concentración y relaciones entre los diferentes nodos de la red.

Los resultados obtenidos muestran que, en el contexto analizado, la cadena de suministro no opera bajo una estructura completamente integrada, sino que responde a dinámicas descentralizadas, en las cuales las decisiones se toman de manera independiente por cada actor. Asimismo, se evidencia la ausencia de mecanismos de compra centralizada como las organizaciones de compra grupal, lo que limita la consolidación de la demanda y la eficiencia en los procesos de abastecimiento.

En este sentido, el estudio permite identificar oportunidades de mejora desde la investigación de operaciones, particularmente en el diseño de modelos que contribuyan a optimizar la localización de servicios, la distribución de recursos y la articulación entre actores, con el fin de avanzar hacia un sistema de salud más eficiente y coordinado

Abstract

Title: Characterization of the Healthcare Supply Chain in Bucaramanga and its Metropolitan Area:
An Operations Research Perspective

Author: Laura Camila Carvajal Martínez

Keywords: Healthcare supply chain, operations research, healthcare service network, service location, healthcare logistics, optimization, Bucaramanga metropolitan area

Description: The dynamics of the healthcare supply chain involve the interaction of multiple actors, including insurance entities, healthcare service providers, pharmaceutical distributors, blood banks, and patients, which are connected through flows of information, services, and resources. In the literature, this supply chain is described as a structured and integrated system, where coordination mechanisms exist to optimize resource allocation and improve overall system efficiency.

Based on this context, this study focuses on the characterization of the healthcare supply chain in Bucaramanga and its metropolitan area, approached from an operations research perspective. To achieve this, the main actors of the system are identified, and their location and distribution across the territory are analyzed using geographic analysis tools, allowing the identification of concentration patterns and relationships among the different nodes of the network.

The results show that, in the analyzed context, the supply chain does not operate under a fully integrated structure but rather follows decentralized dynamics, where decisions are made independently by each actor. Additionally, the absence of centralized purchasing mechanisms, such as group purchasing organizations, is observed, which limits demand consolidation and reduces efficiency in procurement processes.

In this sense, the study identifies opportunities for improvement from an operations research perspective, particularly in the development of models aimed at optimizing service location, resource distribution, and coordination among actors, in order to move towards a more efficient and coordinated healthcare system

Introducción

La cadena de suministro en el sector salud (SCH), es un componente fundamental para garantizar que los servicios médicos lleguen de manera eficiente y oportuna a los pacientes. Sin embargo; la SCH abarca un conjunto de procesos interconectados que incluyen la adquisición, almacenamiento, distribución y administración de recursos críticos para la atención médica. Es un concepto amplio y complejo, en el que múltiples factores pueden parecer evidentes a simple vista, pero cuya definición detallada permite identificar interdependencias, puntos críticos y posibles fallas en su funcionamiento.

El adecuado funcionamiento de la cadena de suministro en el sector salud (SCH) no solo se refleja en la calidad del servicio recibido por los pacientes, sino también en una serie de variables intermedias que influyen directamente en su desempeño. Entre estos factores se encuentran los costos operacionales, la eficiencia en la gestión de recursos, la sostenibilidad del sistema, la responsabilidad social y la capacidad de respuesta ante situaciones críticas, como desabastecimientos o emergencias sanitarias.

Dentro de la cadena de suministro, la investigación de operaciones desempeña un papel importante, debido a que, como lo menciona Levner & Herbon (2023) la aplicación de técnicas de investigación de operaciones en la cadena de suministro de salud es fundamental para mejorar la planificación, gestión de inventarios y distribución de recursos críticos.

Este estudio tiene como objetivo caracterizar la cadena de suministro en el sector salud a partir de una revisión de literatura y desde una perspectiva de investigación de operaciones. Para ello, se estructura el análisis en torno a tres sub-cadenas principales: la gestión de la sangre, la sub-cadena farmacéutica y de medicamentos, y la sub-cadena hospitalaria. A través de este enfoque, se

identifican los actores clave en cada una de estas sub-cadenas, sus interacciones y las dinámicas que influyen en la eficiencia y resiliencia del sistema.

Tabla 1.
Cumplimiento de objetivos

Objetivos específicos	Cumplimiento
Identificar los actores y relaciones clave de la cadena de suministro del sector salud a través de una revisión de literatura.	Capítulo 2
Determinar los problemas críticos de la cadena de suministro del sector salud desde la perspectiva de investigación de operaciones mediante una revisión de literatura.	Capítulo 3
Definir la cadena de suministro del sector salud en Bucaramanga y su área metropolitana involucrando sus problemáticas en investigación de operaciones a partir de los resultados de las revisiones previas y de consultas en literatura gris.	Capítulo 4
Realizar un artículo académico de carácter publicable en donde se plasmen los resultados de la investigación.	Apéndice_C Artículo

1. Generalidades del proyecto

1.1 Planteamiento del problema

La cadena de suministro del sector salud (HSC) es un componente esencial para garantizar la disponibilidad de bienes y servicios médicos. Su gestión involucra procesos de adquisición, almacenamiento, distribución y entrega de insumos críticos, cuya eficiencia impacta en la sostenibilidad operativa del sistema y la calidad del servicio prestado (Meindl, 2021). En Colombia, el modelo de aseguramiento establecido por la Ley 100 de 1993 y sus normativas complementarias regulan la participación de entidades públicas y privadas en la prestación de servicios de salud (Congreso de la República, 1993). Sin embargo, a pesar de este marco normativo, persisten desafíos relacionados con la gestión de inventarios y la distribución de insumos médicos, lo que da como resultado ineficiencias operativas, que finalmente se traduce en sobrecostos, dificultades de acceso a medicamentos y deficiencia en la calidad del servicio prestado. La desintegración entre las partes logísticas junto con las entidades involucradas incrementa las problemáticas asociadas a la calidad del servicio brindado a los ciudadanos en términos de salud.

En el caso de Bucaramanga y su área metropolitana, estas problemáticas se acentúan debido a limitaciones en la infraestructura logística, la fragmentación en la gestión de la cadena de suministro y la falta de integración entre los diferentes actores del sistema de salud (Ramírez, 2019). Estas deficiencias dificultan el acceso oportuno a medicamentos, dispositivos médicos y otros insumos esenciales, afectando la atención de los pacientes y la operatividad de las instituciones de salud.

Dada la importancia de optimizar la cadena de suministro en el sector salud, es necesario realizar una caracterización detallada de su funcionamiento en Bucaramanga y su área

metropolitana. La Universidad Industrial de Santander, a través de la Misión 6.0, impulsa investigaciones alineadas con problemáticas regionales (Universidad Industrial de Santander, 2022). Por otra parte, el Grupo en Optimización y Organización de Sistemas Productivos, Administrativos y Logísticos -OPALO propone iniciativas para mejorar la gestión en el sector salud mediante sus líneas de investigación y de extensión. En este contexto, el presente estudio busca caracterizar la cadena de suministro del sector salud en Bucaramanga y su área metropolitana desde una perspectiva de investigación de operaciones, identificando sus principales actores, interacciones y oportunidades de mejora. Los hallazgos de este estudio permitirán establecer un marco de referencia para futuras investigaciones, abordando la naturaleza del sistema y conociendo a profundidad cuales son los quiebres más relevantes, los cuales contribuirán a la formulación de estrategias que involucren un cambio significativo positivo y de esta forma, incrementen la eficiencia del sistema de salud regional.

1.2 Objetivos

1.2.1. *Objetivo general*

Caracterizar la cadena de suministro del sector salud en Bucaramanga y su área metropolitana, identificando sus actores clave y sus problemas críticos desde la perspectiva de la Investigación de Operaciones.

1.2.2. *Objetivos específicos*

Identificar los actores y relaciones clave de la cadena de suministro del sector salud a través de una revisión de literatura.

Determinar los problemas críticos de la cadena de suministro del sector salud desde la perspectiva de investigación de operaciones mediante una revisión de literatura.

Definir la cadena de suministro del sector salud en Bucaramanga y su área metropolitana involucrando sus problemáticas en investigación de operaciones a partir de los resultados de las revisiones previas y de consultas en literatura gris.

Realizar un artículo académico de carácter publicable en donde se plasmen los resultados de la investigación.

1.3 Resultados esperados

1. - Tesis de pregrado.
2. - Caracterización de la cadena de suministro de Bucaramanga y su área metropolitana
3. - Artículo académico de carácter publicable.

1.4 Metodología

Como lo menciona Grant & Booth (2009) la revisión de literatura es una metodología fundamental para consolidar el conocimiento en un área de estudio, ya que permite identificar

tendencias, brechas y relaciones clave dentro de un campo de investigación. En este sentido, se adoptará una metodología estructurada basada en el enfoque SALSA (Search, Appraisal, Synthesis, and Analysis), que comprende cuatro fases esenciales: búsqueda, evaluación, síntesis y análisis. Esta metodología se aplicará en el marco de una revisión sistemática de la literatura, con un enfoque específico en la investigación de operaciones dentro de la cadena de suministro del sector salud.

1.5 Revisión de literatura sobre la cadena de suministro del sector salud.

Para abordar la caracterización de la cadena de suministro del sector salud en Bucaramanga y su área metropolitana, se llevará a cabo una revisión de literatura en bases de datos científicas, complementada con el análisis de informes técnicos y normativas del sector. Esta revisión tiene como propósito identificar los actores clave, sus interacciones y los principales desafíos en la gestión de insumos médicos. El desarrollo de este análisis se estructurará a través de las siguientes actividades:

- **Actividad 1.** Realizar una búsqueda sistemática de literatura en bases de datos académicas reconocidas, aplicando estrategias de búsqueda estructuradas

- **Actividad 2.** Seleccionar las fuentes identificadas con base en su pertinencia para el estudio, considerando la metodología utilizada y su relación con la cadena de suministro del sector salud.

- **Actividad 3.** Caracterizar los actores clave y sus interacciones dentro de la cadena de suministro, extrayendo información de los estudios revisados para comprender su rol y funcionamiento en el sistema.

- **Actividad 4.** Elaborar un diagrama que sintetice los hallazgos de la revisión, destacando los elementos y su interconexión dentro de la cadena de suministro.

1.6 Identificación de problemas críticos desde perspectiva de investigación de operaciones.

Mediante una revisión de literatura, se buscará identificar los problemas críticos que afectan la eficiencia de la cadena de suministro del sector salud, considerando enfoques desde la investigación de operaciones para su posible optimización. Para ello, se llevarán a cabo las siguientes actividades:

- **Actividad 1.** Revisar literatura relacionada con la cadena de suministro del sector salud, incluyendo informes gubernamentales y documentos institucionales

- **Actividad 2.** Seleccionar fuentes identificadas con base en su pertenencia para el alcance de problemática a nivel de investigación de operaciones

- **Actividad 3.** Caracterizar los problemas encontrados mediante el análisis de su impacto en la eficiencia, costos y calidad del sistema de salud.

1.7. Definición de la cadena de suministro en Bucaramanga y su área metropolitana.

Caracterizar la cadena de suministro del sector salud en la región a partir de una revisión de literatura gris y relacionarla con los problemas identificados anteriormente, siguiendo las actividades compartidas a continuación:

- **Actividad 1.** Realizar una revisión de literatura gris, incluyendo informes gubernamentales, documentos técnicos y normativas locales

- **Actividad 2.** Identificar actores clave en la cadena de suministro del sector salud en Bucaramanga y su área metropolitana.

- **Actividad 3.** Comparar la estructura de la cadena de suministro local con el modelo general identificado en la literatura.

- **Actividad 4.** Establecer la relación entre los problemas críticos identificados y las particularidades del contexto regional.

1.8 Síntesis de resultados.

En la fase final se proyecta elaborar un documento que reúna todo el proceso realizado para el proyecto acompañado de un artículo académico de carácter publicable, que consolide la investigación realizada con sus resultados.

- **Actividad 1.** Redacción del documento final: tesis de trabajo de investigación.

- **Actividad 2.** Redactar el artículo académico.

2. Marco referencial

2.1 Marco de antecedentes

En el contexto de esta investigación, el término “cadena de suministro del sector salud” se utiliza para describir de manera integral el conjunto de actores, procesos y flujos involucrados en la prestación de servicios de salud. Aunque en la literatura en inglés no existe un término único equivalente, este concepto se aproxima a lo que se conoce como Healthcare Supply Chain, el cual abarca no solo la distribución de medicamentos, sino también la gestión de servicios, recursos e instituciones dentro del sistema de salud.

No obstante, es importante diferenciarlo de conceptos más específicos como Pharmaceutical Supply Chain o Medicine Supply Chain, que se enfocan exclusivamente en la

producción y distribución de medicamentos. En este trabajo, se adopta un enfoque más amplio que integra diferentes subcadenas, como la hospitalaria, la farmacéutica y la de sangre, con el fin de analizar el sistema de manera más completa.

En el desarrollo de este campo investigativo, se han realizado diversos análisis desde distintas perspectivas de la cadena de suministro del sector salud SCH, abordando sus particularidades, deficiencias y oportunidades de mejora. Estos estudios han permitido comprender mejor la estructura y funcionamiento de la SCH, así como identificar las principales problemáticas que afectan su eficiencia y proponer estrategias de optimización.

En este sentido, Aguirre Araque y Burbano Muñoz, en su trabajo de grado en 2021 titulado *“Propuesta de diagnóstico del estado actual de la cadena de abastecimiento en el sistema de salud en Colombia”*, plantearon un diagnóstico sobre la situación de la cadena de abastecimiento en el sector salud en Colombia, con un enfoque centrado en el sector privado. Su estudio abordó la estructura logística de abastecimiento de insumos médicos, identificando las principales debilidades en la planificación de la demanda, los tiempos de reposición de inventario y la eficiencia en la distribución de medicamentos y dispositivos médicos. Sin embargo, al limitarse al sector privado, sus hallazgos pueden diferir significativamente de la realidad del sector público, el cual enfrenta desafíos adicionales relacionados con el abastecimiento, la logística y la coordinación en la prestación de servicios de salud. (Aguirre Araque, S., & Burbano Muñoz, R, 2021)

La HSC abarca diversas ramas con características y problemáticas específicas, lo que hace necesario un entendimiento profundo de cada una. En su trabajo de grado en 2018 titulado *“Diagnóstico logístico de distribución de dispositivos médicos”*, Constantin Muñoz llevó a cabo un estudio centrado en la logística de distribución de dispositivos médicos en instituciones prestadoras de servicios de salud en Colombia. Su investigación se enfocó en analizar la eficiencia

de los procesos de almacenamiento y distribución de estos insumos, evaluando aspectos como tiempos de entrega, costos de transporte y cumplimiento de normativas de bioseguridad. Asimismo, resaltó la importancia de contar con un diagnóstico previo antes de proponer mejoras, ya que la optimización de la distribución de dispositivos médicos depende en gran medida de la identificación precisa de problemas en la gestión logística. Su estudio contribuyó a evidenciar las brechas existentes en la cadena de suministro de dispositivos médicos y propuso estrategias para mejorar la trazabilidad y disponibilidad de estos insumos en los centros de salud. (Muñoz, 2018)

Desde otro enfoque, Ordoñez Montilla, en su trabajo de grado en 2019 titulado *“Logística colaborativa en el sector salud. Caso logístico de medicamentos y dispositivos médicos en la línea hospitalaria”*, abordó la problemática de la coordinación entre los distintos actores de la cadena de suministro farmacéutica en hospitales. Su estudio identificó deficiencias en los flujos de información entre proveedores, distribuidores y hospitales, lo que ocasiona problemas de desabastecimiento y sobrecostos. Además, propuso mejoras a través del uso de metodologías de pensamiento sistémico, con el objetivo de optimizar la comunicación y la planificación dentro de la cadena de suministro. Su investigación evidenció que la integración de herramientas tecnológicas y modelos colaborativos de gestión pueden contribuir a mejorar la eficiencia operativa, reducir tiempos de respuesta y optimizar el uso de recursos en la cadena de suministro hospitalaria (Montilla, 2019).

Por lo anterior, se concluye que la pertinencia de este trabajo es fundamental, dado que no se cuenta con una caracterización detallada de la cadena de suministro del sector salud en Bucaramanga y su área metropolitana. Este trabajo busca aportar a la comprensión de la cadena de suministro hospitalaria mediante la identificación de sus problemáticas y el análisis de los factores que afectan su desempeño. A través de la investigación de operaciones, se examinarán las

interacciones entre los actores, los recursos disponibles y los procesos logísticos dentro del sistema de salud regional. Con ello, se espera generar información clave que permita un mejor entendimiento de la estructura y funcionamiento de la cadena de suministro en Bucaramanga y su área metropolitana.

2.2 Marco legal

En Colombia, el sector salud está regulado por un conjunto de normas y decretos que establecen su organización, financiamiento y operación. Dada la complejidad del sector debido a una variedad extensa de factores a intervenir, estas regulaciones establecen lineamientos esenciales para garantizar el derecho a la salud y al saneamiento en el país. La Constitución Política de Colombia (1991) en su Artículo 49 dispone que "la salud es un servicio público a cargo del Estado", garantizando el acceso de toda la población a servicios de promoción, protección y recuperación de la salud. Además, establece que el sistema debe organizarse bajo principios de eficiencia, universalidad y solidaridad, con un modelo descentralizado y niveles de atención diferenciados. Asimismo, otorga al Estado la responsabilidad de reglamentar y vigilar la prestación de servicios, tanto públicos como privados (Constitución Política de Colombia, 1991, Art. 49)

Según la Ley 100 de 1993, se establece el Sistema General de Seguridad Social en Salud (SGSSS), el cual define la estructura del sistema de salud en el país. Esta ley determina la relación entre los diferentes actores, incluyendo Entidades Promotoras de Salud (EPS), Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud (IPS), proveedores de insumos médicos y entidades gubernamentales de control. Las EPS son responsables de garantizar el acceso a los servicios de salud a los afiliados, mientras que las IPS prestan los servicios asistenciales. Adicionalmente, la ley dispone mecanismos de aseguramiento y financiamiento del sistema, asegurando la cobertura

de medicamentos e insumos médicos bajo principios de eficiencia, universalidad y solidaridad (Congreso de la República de Colombia, 1993, Ley 100)

El Decreto 780 de 2016, conocido como el Decreto Único Reglamentario del Sector Salud y Protección Social, consolida la regulación de procesos administrativos y operativos en el sistema de salud. Este decreto establece los criterios que deben cumplir las EPS e IPS en la adquisición, almacenamiento, distribución y dispensación de medicamentos e insumos médicos. También obliga a implementar sistemas de trazabilidad para garantizar el control de calidad en toda la cadena de suministro y prevenir problemas como la falsificación de medicamentos y el desabastecimiento (Ministerio de Salud y Protección Social, 2016, Decreto 780)

En cuanto a la regulación específica de medicamentos y dispositivos médicos, la Resolución 1441 de 2013 establece los estándares de almacenamiento, distribución y dispensación. Exige que los medicamentos sean almacenados en condiciones adecuadas de temperatura y humedad, define protocolos para la distribución segura y dispone la implementación de sistemas de gestión de calidad en farmacias y centros de salud (Ministerio de Salud y Protección Social, 2013, Resolución 1441).

Por otro lado, el Decreto 2078 de 2012 establece los lineamientos para la planificación y gestión del suministro de dispositivos médicos en instituciones de salud. Obliga a las entidades a garantizar un abastecimiento continuo y eficiente de estos insumos, minimizando riesgos asociados a desabastecimientos o sobrecostos en la adquisición. Además, exige que se realicen estudios de demanda para evitar la escasez de insumos esenciales (Ministerio de Salud y Protección Social, 2012, Decreto 2078).

En el ámbito de la seguridad transfusional, la Resolución 1915 de 2008 regula los procedimientos de recolección, análisis, almacenamiento y distribución de sangre y sus derivados. Esta norma exige que los bancos de sangre implementen protocolos de seguridad rigurosos para la detección de enfermedades transmisibles como VIH, hepatitis y otras infecciones. También obliga a que la trazabilidad de cada unidad de sangre donada esté documentada para evitar riesgos en su distribución y uso en transfusiones (Ministerio de Salud y Protección Social, 2008, Resolución 1915).

Por último, la Resolución 4002 de 2007 regula la farmacovigilancia en Colombia, estableciendo mecanismos para el monitoreo de la calidad, seguridad y eficacia de los medicamentos en la cadena de suministro. Exige que todas las instituciones involucradas en la distribución y uso de medicamentos implementen sistemas de control y reporte de eventos adversos con el fin de mejorar la seguridad de los pacientes. (Ministerio de Salud y Protección Social, 2007, Resolución 4002).

Estas regulaciones en conjunto estructuran el marco normativo que rige la cadena de suministro en el sector salud en Colombia, establecen normas para la gestión de insumos, medicamentos y servicios hospitalarios. Sin embargo, existen una variedad de normativas que regulan partes muy específicas de la cadena que resultaría muy extensa su descripción, para la cual, la anteriormente mencionadas resultan apropiadas para el objetivo del estudio.

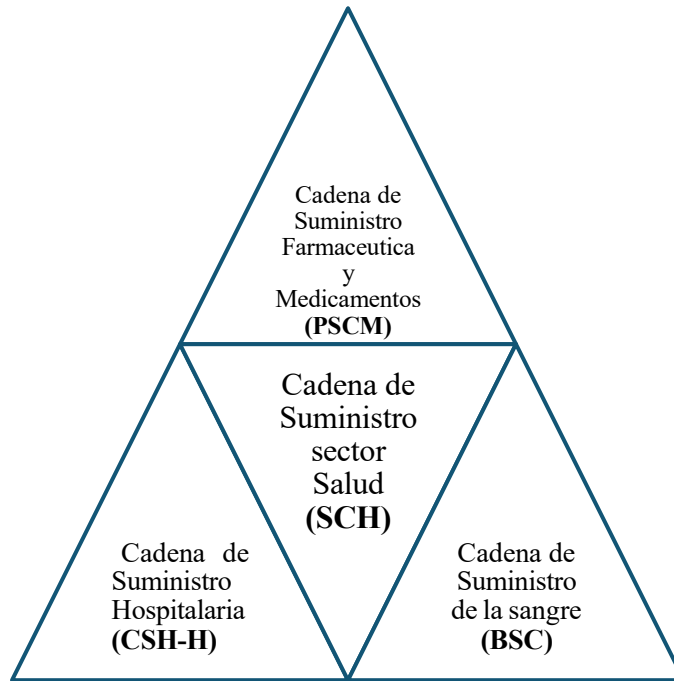
3. Revisión de literatura

3.1 Análisis bibliométrico.

La presente revisión de literatura tiene dos objetivos principales: (1) caracterizar las sub-cadenas de la SCH, identificando a los actores clave, y (2) analizar las interrelaciones entre ellos. Como resultado, se obtiene una caracterización integral de la SCH. Cabe destacar que esta búsqueda se enmarca dentro de una perspectiva de investigación

de operaciones, enfocándose en el funcionamiento de los procesos logísticos y operativos. Para ello, se identifican los tesauros de la investigación, como se ilustra en la Figura 1.

Figura 1.
Tesauros clave



A partir de estos conceptos, se realizaron múltiples iteraciones en el proceso de búsqueda, dado que la literatura sobre el sector salud es extensa y abarca diversas áreas de estudio. Para garantizar que el análisis reflejara con claridad los actores clave dentro de la cadena de suministro del sector salud, fue necesario definir una estrategia de búsqueda que permitiera filtrar y organizar la información de manera efectiva.

Inicialmente, se exploraron estudios en español; sin embargo, se identificó que una gran proporción de las investigaciones más relevantes se encontraba en inglés. Por esta razón, se amplió la búsqueda utilizando términos en este idioma, lo que permitió acceder a una mayor cantidad de estudios especializados y de alta calidad.

Este proceso de refinamiento y selección de información culminó en la construcción de la siguiente ecuación de búsqueda:

*(TITLE-ABS-KEY ("healthcare supply chain" OR "hospital supply chain" OR "blood supply chain" OR "pharmaceutical supply chain" OR "medicine supply chain") AND TITLE-ABS-KEY ("drug supply chain" OR "medical supply chain" OR "health supply chain"))*¹

*("healthcare supply chain"[Title/Abstract] OR "hospital supply chain"[Title/Abstract] OR "blood supply chain"[Title/Abstract] OR "pharmaceutical supply chain"[Title/Abstract] OR "medicine supply chain"[Title/Abstract]) AND ("drug supply chain"[Title/Abstract] OR "medical supply chain"[Title/Abstract] OR "health supply chain"[Title/Abstract])*²

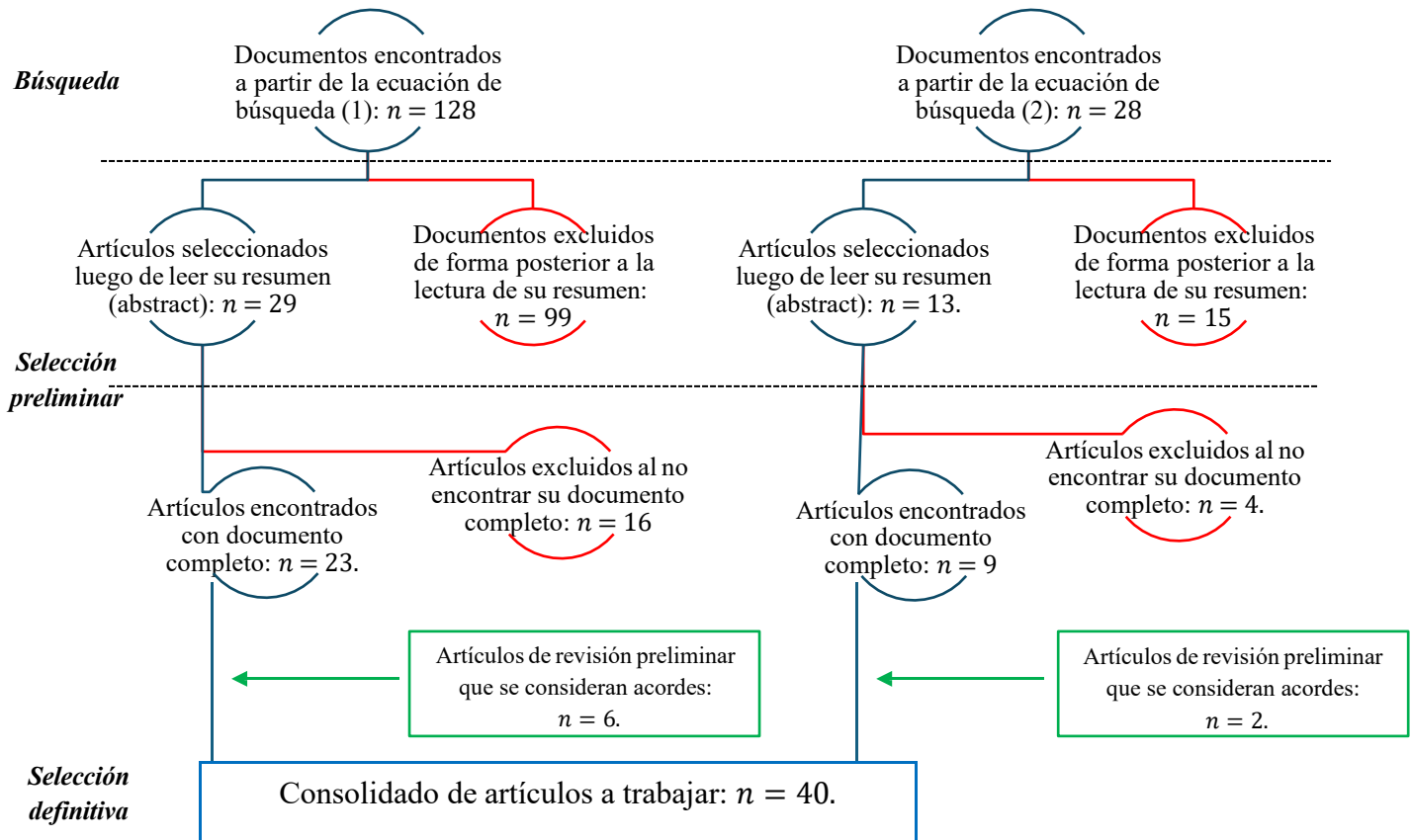
La ecuación (1) fue utilizada en Scopus, una base de datos de gran amplitud que alberga una extensa colección de artículos científicos en diversas disciplinas. Como resultado de esta búsqueda, se identificaron 121 documentos relacionados con la cadena de suministro en el sector salud.

Por otro lado, la ecuación (2) se aplicó en PubMed, una base de datos especializada en literatura biomédica y de ciencias de la salud, utilizando una terminología ajustada al enfoque médico. Esta búsqueda arrojó 28 resultados, los cuales fueron sometidos a un proceso de filtrado. En la Figura 2. se presenta la metodología empleada para la selección de los documentos más relevantes.

¹ Ecuación de búsqueda Scopus

² Ecuación de búsqueda PubMed

Figura 2
Flujograma de la revisión de literatura



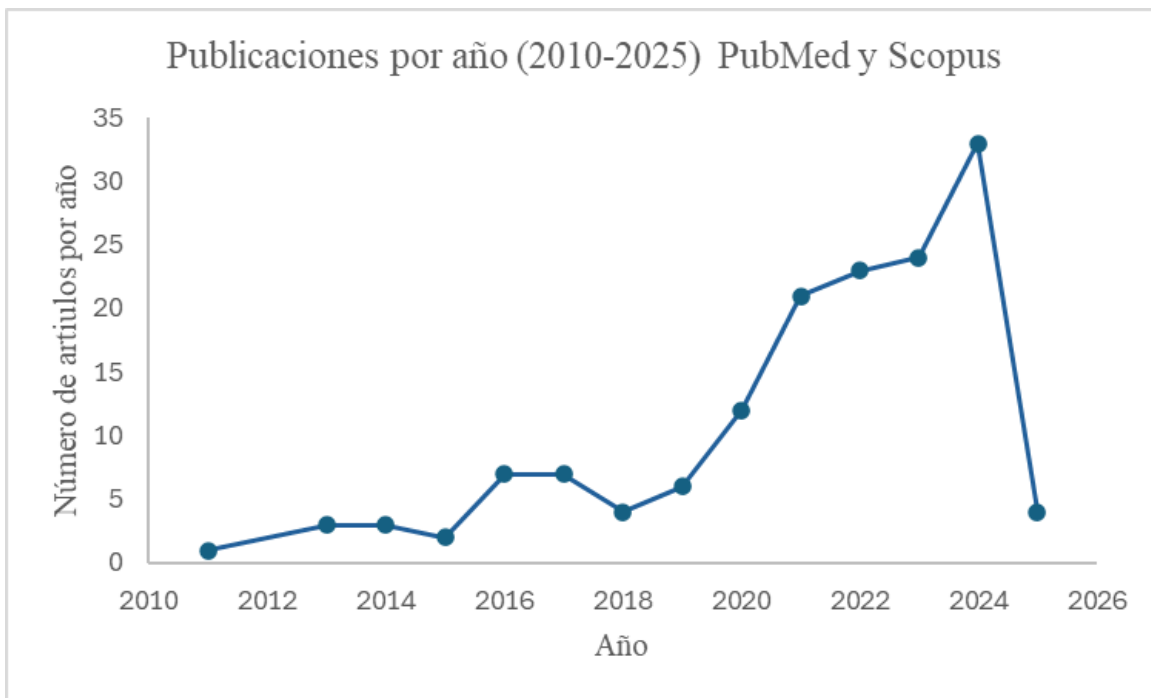
Como resultado de este proceso de selección y depuración, la presente revisión se enfocará en el análisis de los 40 artículos que fueron seleccionados tras aplicar los criterios establecidos. A continuación, se expone un análisis bibliométrico que permite comprender las tendencias, enfoques y principales contribuciones de los estudios identificados.

3.2 Año de publicación.

Los artículos seleccionados abarcan un período de tiempo que inicia en 2013, lo que evidencia un creciente interés en la investigación sobre la cadena de suministro en el sector salud. Como se observa en la Figura 3, el estudio en esta área ha ido en aumento, con dos picos significativos: el primero en 2020, probablemente impulsado por la

contingencia del COVID-19, y el segundo en 2024, reflejando un renovado interés en la optimización de los procesos logísticos en el sector. En 2025, se observa un descenso en el número de publicaciones; sin embargo, este decrecimiento puede atribuirse al hecho de que la búsqueda fue realizada en los primeros meses del año, por lo que aún no se han indexado todos los estudios correspondientes a este período.

Figura 3.
Publicaciones por año



Nota. Adaptado de Scopus

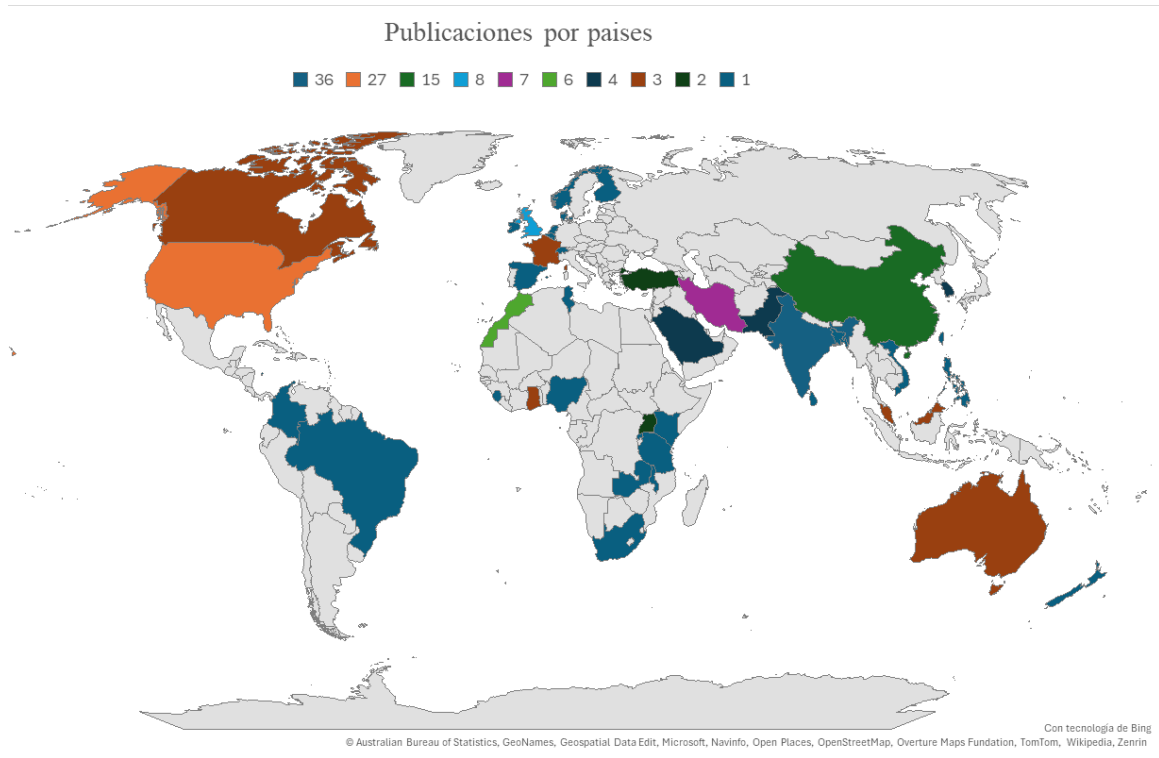
3.3 Regiones/países de publicación.

En cuanto al origen geográfico de los estudios, se observa una distribución dispersa sin un patrón claro. Sin embargo, como se muestra en la Figura 4 y Figura 5, India, China y Estados Unidos son los países con mayor número de publicaciones.

Este predominio puede atribuirse a su alta capacidad de producción científica, su gran población, que demanda una gestión eficiente de la cadena de suministro en salud, y su papel clave

en la fabricación y distribución de insumos médicos a nivel global, especialmente tras la pandemia de COVID-19.

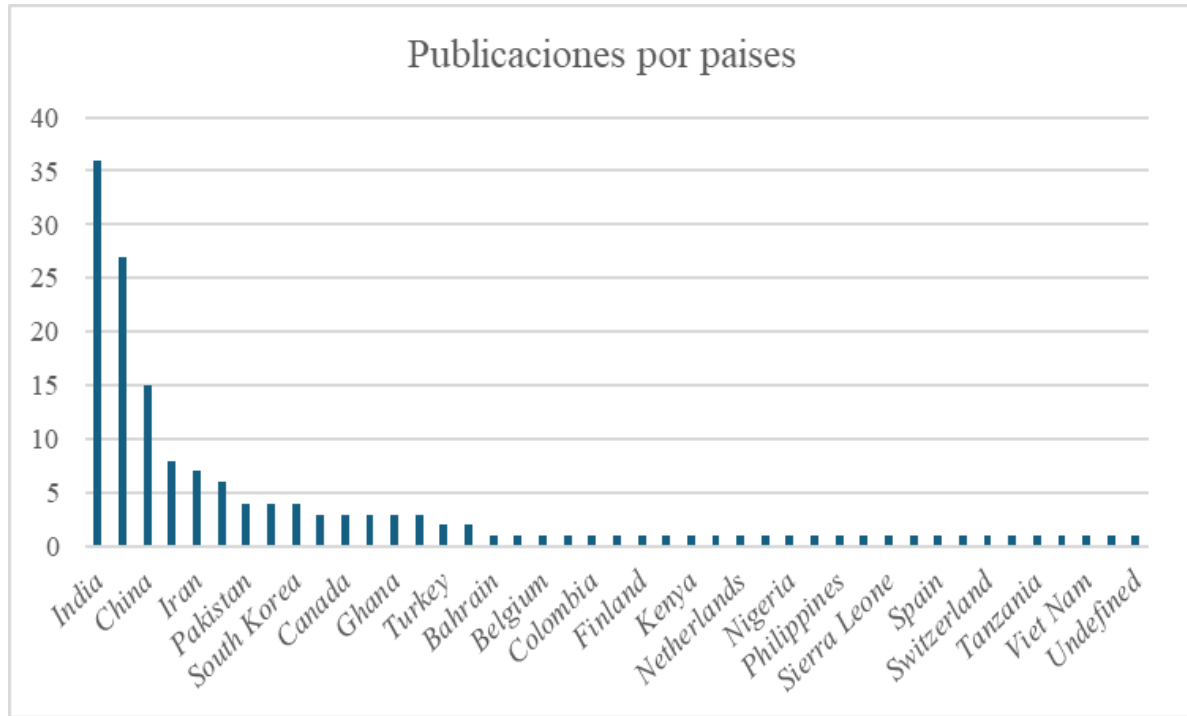
Figura 4
Distribución de publicaciones



Nota. Adaptado de Scopus

Particularmente, se evidencia una baja representación de países latinoamericanos, incluyendo Colombia, lo que sugiere una limitada producción científica en la región en torno a la cadena de suministro en el sector salud.

Figura 5
Distribución de publicaciones por países



Nota. Adaptado de Scopus

3.4 Principales autores

En cuanto a las publicaciones por autor, como se puede evidenciar en la *Figura 6*, no se identifica un investigador dominante en el campo, ya que la mayoría de los autores contribuyen con uno o dos artículos. Esto sugiere que el estudio de la cadena de suministro en salud es un área de interés amplia y dinámica, con aportes dispersos entre distintos investigadores en lugar de concentrarse en un grupo específico.

Figura 6.
Publicaciones por autor

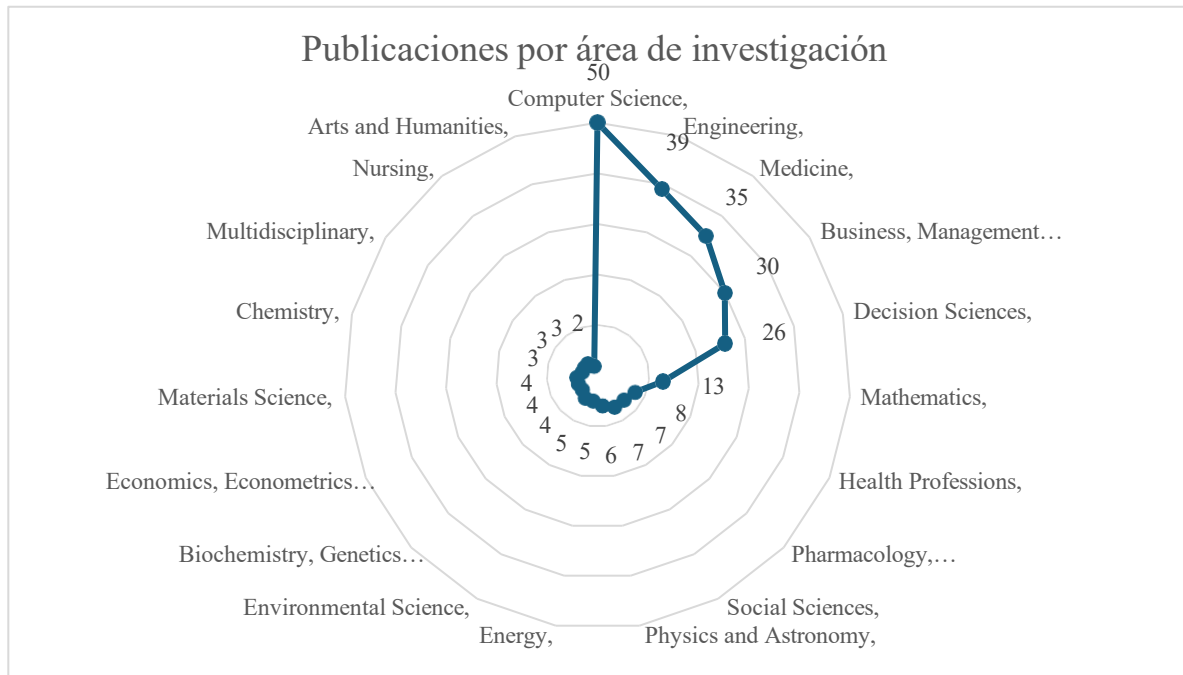


Nota. Adaptado de Scopus

3.5 Áreas de investigación.

En cuanto a la distribución de las publicaciones por área de estudio, como se puede observar en la *Figura 7.* se observa una mayor concentración en estudios sobre información (19%), seguidos por ingeniería (15%), medicina (14%) y negocios y administración (12%). Este comportamiento refleja la naturaleza interdisciplinaria de la gestión de la cadena de suministro en salud, abarcando tanto aspectos tecnológicos y operativos como estratégicos y administrativos.

Figura 7.
Distribución de publicaciones por área de estudio



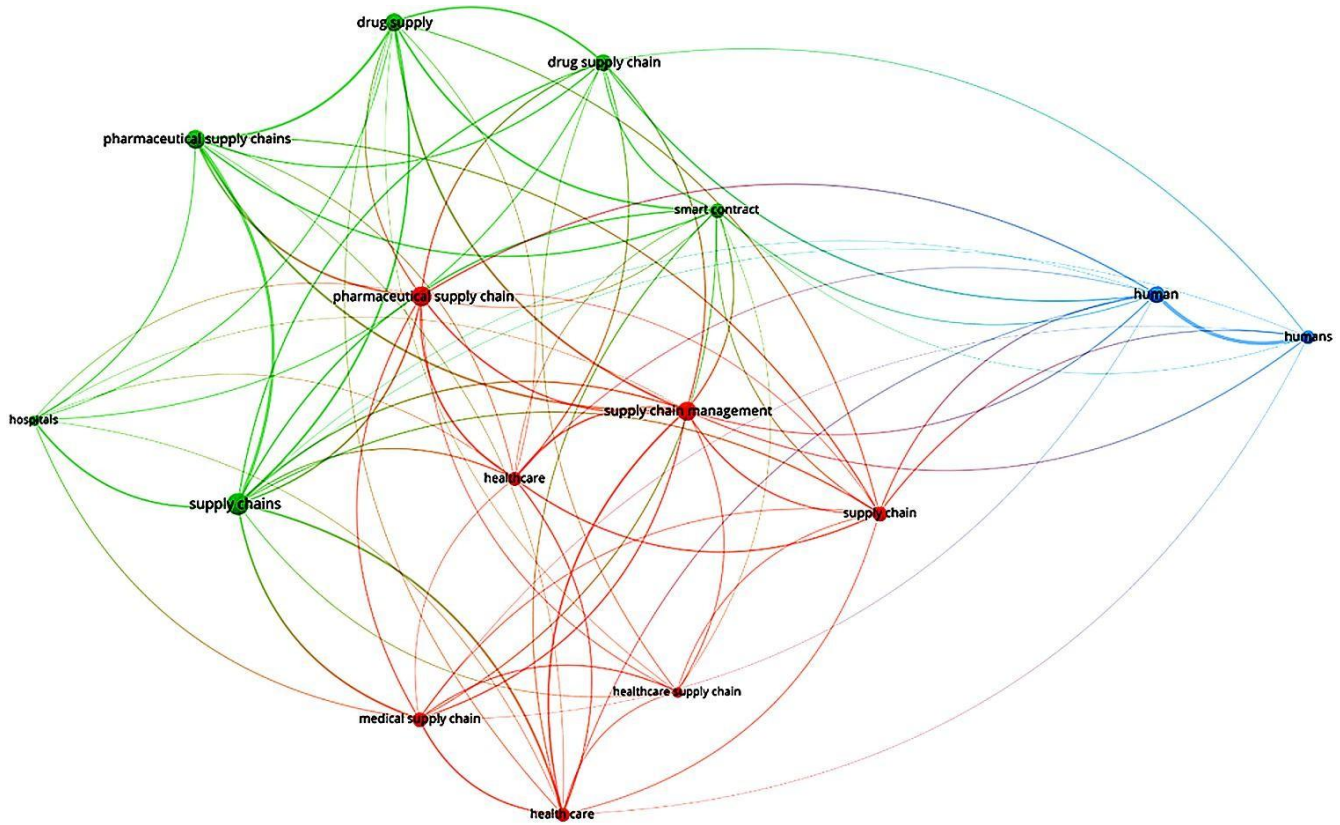
Nota. Adaptado de Scopus

3.6 Análisis de palabras clave.

A partir del análisis de la red de palabras clave representada en la Figura 8, se puede observar que el concepto central es la cadena de suministro en el sector salud. Desde este nodo principal emergen diversas subramas que permiten identificar los enfoques predominantes en la literatura revisada.

En primer lugar, se distingue un grupo de términos asociados a la cadena de suministro farmacéutica (marcado en color verde), donde destacan conceptos como "pharmaceutical supply chains", "drug supply", y "hospitals". Además, la presencia de términos como "smart contract" sugiere una creciente tendencia en la aplicación de tecnologías digitales para mejorar la trazabilidad y la seguridad en la distribución de medicamentos.

Figura 8.
Análisis de relación de palabras clave



Nota. Adaptado de Scopus

3.7 Glosario.

A continuación, se definen algunos términos relevantes que se emplearán a lo largo del documento, esto con el fin de tener un entendimiento de las abreviaturas a mencionar.

3.8 Análisis de literatura.

La cadena de suministro en el sector salud es un componente crítico en el funcionamiento eficiente del sistema de salud, como lo define Juhara en 2024, la logística del sector salud integra procesos desde diferentes entidades para garantizar que todos los productos y servicios se entreguen de manera oportuna al consumidor, con lo cual se incrementa la satisfacción del cliente (Juhara, S., 2024).

La cadena de suministro en el sector salud comprende el conjunto de procesos, recursos y actores involucrados en la adquisición, almacenamiento, distribución y entrega de productos y

servicios médicos. Su gestión eficiente es fundamental para garantizar la disponibilidad oportuna de insumos esenciales, optimizar costos y mejorar la calidad del servicio de salud (Cruz, M., 2022)

A continuación, en la Tabla 2. se presentan diversas definiciones de la cadena de suministro en el sector salud, formuladas por distintos autores en publicaciones recientes:

Tabla 2
Definición de la cadena de suministro

Autores	Definición
(Ordoñez. M, 2024)	La SCH consiste en una red de actividades interconectadas (selección, adquisición, distribución y uso) de varias entidades como los centros médicos, agencias reguladoras, proveedores y compañías de seguros que permiten contribuir a la entrega de productos y servicios para brindar una atención correcta a los pacientes
(Ruíz-Orjuela, 2023)	La gestión de la cadena de suministro de salud se define como la secuencia de flujos físicos y de información necesarios para entregar un buen servicio a los pacientes al menor costo posible, constituyéndose en una práctica organizativa para obtener una ventaja competitiva en el sector salud.
(Council of Supply Chain Management Professionals CSCMP, 2013)	La gestión de la cadena de suministro SCH abarca la planificación y gestión de todas las actividades involucradas en la conversión, adquisición y abastecimiento, así como todas las actividades de la gestión logística. Esto incluye la coordinación y colaboración con cada uno de los eslabones, que pueden ser proveedores, fabricantes, centros de distribución, comercializadores y clientes.

En síntesis, la cadena de suministro en el sector salud involucra múltiples actores, procesos y relaciones, con el objetivo de garantizar el cumplimiento de los requerimientos de los usuarios.

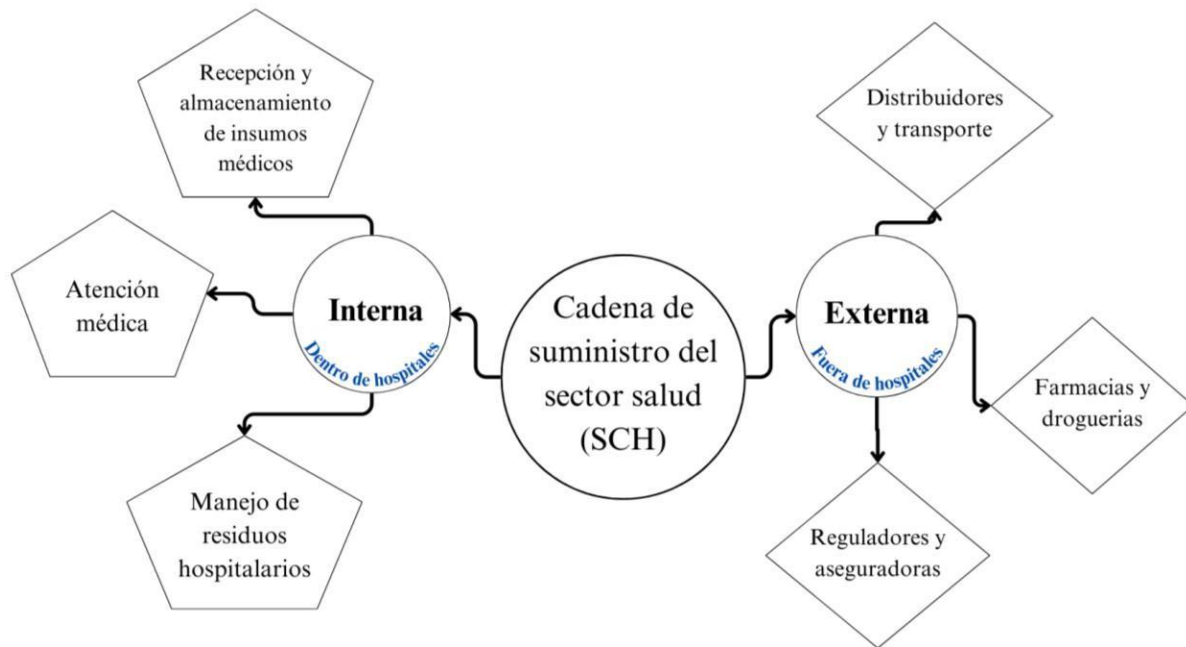
Los autores mencionados coinciden en que una gestión eficiente de esta cadena no solo optimiza el flujo de recursos y servicios, sino que también fortalece la calidad de la atención y mejora la ventaja competitiva de las organizaciones del sector.

La cadena de suministro se puede clasificar de varias formas, una de ellas es según la naturaleza de los involucrados principales, es decir de los pacientes y del ente de salud, como lo expone Ruíz-Orjuela et al. (2023), "la cadena de suministro interna abarca el flujo de pacientes, recursos e información al interior de la institución de salud. Está conformada por habitaciones, salas de urgencia, quirófanos, farmacias, unidades de cuidados intensivos y demás áreas de atención", es decir todos los involucrados dentro de un mismo ente de salud, por otra parte la cadena de suministro externa comprende el estudio de las relaciones entre actores de una misma red hospitalaria, incluyendo proveedores de servicios sanitarios, fabricantes de insumos médicos, distribuidores y entidades gubernamentales que regulan y supervisan la prestación del servicio (Ruíz-Orjuela, 2023).

La sinergia de estos entes puede ser uno de los factores donde se pueden encontrar mayores falencias, Chan y Green (2013) explican que "uno de los retos más grandes que debe asumir la cadena de abastecimiento en el sistema de salud yace en la adecuada integración de la cadena externa, la cual define proveedores, productores, distribuidores y las instituciones de salud, así como la integración de la cadena interna perteneciente a las entidades que prestan servicios de salud" (Chan, T., & Green, J, 2023).

Figura 9.

Cadena de suministro del sector salud



La gestión de inventarios dentro de la SCH es un pilar para la efectiva gestión, Ruíz-Orjuela et al. (2022) explican que la gestión de inventarios en la cadena de suministro hospitalaria se basa en sistemas push y pull, donde el primero busca mantener niveles de stock predeterminados según proyecciones de demanda, mientras que el segundo responde a necesidades reales del paciente y la disponibilidad de insumos en tiempo real. (Ruíz-Orjuela et al, 2022).

El abastecimiento o desabastecimiento de insumos médicos necesarios para la prestación de servicios de salud es primordial, como Gunpinar y Centeno (2015) destacan que los hospitales enfrentan desafíos significativos en la administración de inventarios perecederos, como los productos sanguíneos, y deben elegir entre estrategias push, donde se asignan unidades de sangre con base en predicciones, o pull, donde los pedidos se realizan bajo demanda para minimizar desperdicios y desabastecimiento (Gunpinar, S., & Centeno, G., 2015).

Debido a que la demanda puede ser muy fluctuante, en términos de salud mantener niveles altos de incertidumbre no es lo más apropiado, Juhara (2024) menciona que los sistemas de inventario en el sector salud han evolucionado hacia modelos híbridos que combinan estrategias push y pull, permitiendo una mejor sincronización en la cadena de suministro mediante tecnologías de pronóstico de demanda y reabastecimiento automatizado (Juhara, S., 2024).

Para lograr una caracterización integral de la cadena de suministro en el sector salud, es apropiado segmentarla en áreas específicas que permitan un análisis más detallado de sus dinámicas operativas y logísticas. De acuerdo con Gunpinar & Centeno (2015), cada componente del sistema de salud presenta particularidades en su gestión, almacenamiento y distribución, lo que hace necesario abordarlas de manera diferenciada.

Marqués, y Araújo (2020) proponen una segmentación de la red de suministro en el sector salud, identificando distintos tipos de suministro con características específicas. Estos incluyen los servicios hospitalarios, que abarcan la atención médica y hospitalaria; los medicamentos, que involucran su producción, distribución y dispensación; las farmacias y dispositivos médicos, encargados del almacenamiento y provisión de insumos esenciales; y la sangre y sus derivados, cuyo proceso abarca la recolección, almacenamiento y distribución, con esta segmentación se busca facilitar el entendimiento del sistema, permitiendo caracterizar los actores involucrados en cada componente y sus relaciones. (Marques, J., Martins, A., & Araújo, M., 2020).

A partir de esta segmentación, es fundamental reconocer que, si bien cada categoría se define con características específicas, estas sub-cadenas no operan de manera aislada. Por el contrario, están interconectadas y presentan relaciones de dependencia que influyen en su funcionamiento y eficiencia. La interacción entre los distintos componentes de la red de suministro en salud es clave para garantizar la continuidad y calidad del servicio. A continuación, se presentará

una caracterización detallada de cada una de estas sub-cadenas. Dado que la cadena de suministro de medicamentos forma parte de la cadena de suministro farmacéutica, ambas serán descritas de manera conjunta, esto con el fin de evitar redundancias. Sin embargo, esta descripción se realizará resaltando sus particularidades, interdependencias y su impacto en la gestión del sistema de salud.

4. Definición de cadena de suministro del sector salud

4.1 Cadena de suministro de la sangre (BSC)

La cadena de suministro de componentes y todos los entes relacionados con la sangre, es un componente vital y de alta importancia por su naturaleza, Martins y Araújo (2020), definen la cadena de suministro de sangre como un sistema altamente regulado y crítico para garantizar la disponibilidad de productos sanguíneos, lo que implica la coordinación de múltiples actores en la red de salud (Marques, J., Martins, A., & Araújo, M., 2020). Debido a que la sangre es un recurso crítico en la atención médica, su gestión dentro de la cadena de suministro requiere estrictos controles operacionales, desde la recolección y almacenamiento hasta la distribución y transfusión

La sangre al ser un componente especial por su composición y durabilidad, tiene distintas restricciones con respecto a su uso y vida útil, como lo define Shokouhifar, Sabbaghi y Pilevari (2021) la naturaleza altamente perecedera de los productos sanguíneos, especialmente las plaquetas, representa un desafío significativo en su gestión, ya que tienen un tiempo de vida útil promedio de solo cinco días, lo que las convierte en el componente más susceptible a desperdicio si no se administra correctamente, Además, la combinación de incertidumbres en la oferta y la demanda agrava aún más esta problemática, llevando en ocasiones un desperdicio significativo de la sangre recolectada por o tener una buena logística (Shokouhifar, M., Sabbaghi, A., & Pilevari, N., 2021).

A continuación, se presentan los principales actores de la BSC:

- **Donantes de sangre:** Los donantes de sangre constituyen el primer eslabón de la cadena de suministro de sangre (BSC), proporcionando el insumo esencial para el sistema de salud. La sangre se obtiene a partir de donaciones voluntarias y altruistas, siendo recolectada en centros de sangre fijos o a través de unidades móviles, conocidas como "campamentos de sangre" o "campañas de donación" (Pirabán, J., Guerrero, W., & Labadie, N., 2019).

El proceso de recolección de sangre se divide en cuatro fases: recepción y registro del donante, evaluación clínica para determinar su aptitud, extracción de sangre y monitoreo post-donación (Alfonso, J., Pérez, R., & Gómez, L., 2013). Existen dos métodos principales de donación:

- **Donación de sangre total:** En la que se extrae una unidad completa y posteriormente se separa en sus distintos componentes (glóbulos rojos, plasma, plaquetas y crioprecipitados) (Pirabán, J., Guerrero, W., & Labadie, N., 2019).

- **Aféresis:** un procedimiento automatizado que permite extraer un componente específico, como plaquetas o plasma, mientras el resto de los elementos son devueltos al donante, lo que optimiza el uso del recurso disponible

Dado que la sangre es un recurso escaso y perecedero, su disponibilidad depende de múltiples factores, como la tasa de participación de donantes y la eficiencia en la recolección y distribución. Además, enfrenta limitaciones debido a la necesidad de pruebas médicas previas y el tiempo de espera entre donaciones, lo que puede afectar su disponibilidad inmediata.

La administración de los requerimientos y distribución de a sangre comprende una parte fundamental, los bancos de sangre deben gestionar la oferta y la demanda mediante sistemas de

inventario y predicción, los cuales permiten optimizar la recolección y distribución, reduciendo tanto el desperdicio como el riesgo de escasez (Lowalekar, H., & Ravichandran, N., 2010).

- ***Centros de recolección sangre:*** Los centros de sangre, también conocidos como bancos de sangre o sitios de recolección, desempeñan un papel fundamental en la cadena de suministro de sangre (BSC), ya que se encargan de la recolección, procesamiento, almacenamiento y distribución de los productos sanguíneos. Su principal función es garantizar que la sangre donada sea segura, cumpla con los estándares de calidad y esté disponible para su uso en hospitales y puntos de transfusión según la demanda (Pirabán, J., Guerrero, W., & Labadie, N., 2019).

Los centros de recolección pueden ser fijo o móviles como algunos buses que se ubican en sitios estratégicos donde logren encontrar o atraer la atención de posibles donantes, estos centros de salud deben encargarse de la recolección y almacenamiento seguro de la sangre, y por otra parte de la gestión de inventario y del movimiento de oferta y demanda que puedan tener hospitales y demás entes interesados en la sangre, así como lo expone Lowalekar & Ravichandran en el 2010, los centros de sangre implementan sistemas de predicción de demanda y modelos de optimización de inventario, lo que les permite ajustar la recolección y distribución de productos sanguíneos según las necesidades (Lowalekar, H., & Ravichandran, N., 2010).

- ***Almacenes y distribuidores:*** Los almacenes y distribuidores desempeñan un papel fundamental en la cadena de suministro de sangre (BSC), ya que son responsables del almacenamiento y transporte de los productos sanguíneos desde los centros de donación y procesamiento hasta laboratorios, hospitales, clínicas y otros centros de atención médica. Dada la naturaleza perecedera de la sangre y sus derivados, la gestión eficiente del almacenamiento y la distribución es crucial para minimizar desperdicios y garantizar un suministro oportuno (Gunpinar, S., & Centeno, G., 2015).

El transporte de la sangre requiere condiciones estrictas de refrigeración y monitoreo continuo para preservar su calidad. Se emplean vehículos especializados que garantizan el mantenimiento de la cadena de frío, lo que es particularmente crítico para productos como las plaquetas, cuya vida útil es de solo cinco días. Los productos sanguíneos deben ser transportados en contenedores isotérmicos que protejan la sangre de variaciones de temperatura y otros factores ambientales que podrían comprometer su integridad (Zahiri, B., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Mohammadi, M., 2018).

Además, la logística de distribución en la BSC debe considerar factores como la optimización de rutas y tiempos de entrega, ya que el tiempo entre la recolección y la transfusión es un parámetro clave para evitar pérdidas y garantizar la disponibilidad de productos debido a su composición natural.

- **Hospitales:** Los hospitales son usuarios de los productos sanguíneos, donde se transfunden a los pacientes. En la literatura, también se les conoce como "punto de transfusión" (Pirabán, J., Guerrero, W., & Labadie, N., 2019). Su papel en la cadena de suministro de sangre BSC los hace dependientes de un abastecimiento constante y oportuno para atender cirugías, emergencias, tratamientos oncológicos y enfermedades como la anemia o la hemofilia.

En términos logísticos, los hospitales reciben sangre de centros de sangre o bancos de sangre, los cuales realizan la distribución según criterios de prioridad médica y niveles de stock, además de factores como picos de demanda en emergencias y variabilidad en el suministro, los accidentes o situaciones atípicas pueden generar escasez, lo que obliga a los hospitales a establecer estrategias de colaboración con otras instituciones para compartir inventarios y reducir el riesgo de desabastecimiento (Pirabán, J., Guerrero, W., & Labadie, N., 2019).

- **Laboratorios médicos:** Los laboratorios médicos son responsables de la realización de pruebas de seguridad, compatibilidad y calidad antes de que los productos sanguíneos sean distribuidos y utilizados en transfusiones. Una vez que la sangre llega a estos centros, se somete a un riguroso proceso de tipificación, detección de enfermedades infecciosas y separación en componentes para garantizar su seguridad y eficacia en tratamientos médicos (Pirabán, J., Guerrero, W., & Labadie, N., 2019). Los distribuidores y almacenistas son los encargados de transportar las recolecciones a los laboratorios, y luego la entrega hacia clínicas u otras entidades de salubridad, también se hacen por medio de los distribuidores.

Dentro de sus funciones, los laboratorios llevan a cabo pruebas serológicas y microbiológicas para detectar patógenos como el VIH, la hepatitis B y C, la sífilis y otras enfermedades transmisibles. Asimismo, realizan pruebas de compatibilidad sanguínea, como la determinación del grupo sanguíneo y pruebas cruzadas, asegurando que las transfusiones sean seguras y reduciendo el riesgo de reacciones adversas en los pacientes (Pirabán, J., Guerrero, W., & Labadie, N., 2019).

- **Pacientes:** Los pacientes representan el último eslabón de la cadena de suministro de sangre (BSC) y son los destinatarios finales de los productos sanguíneos. La demanda de sangre depende de múltiples factores, como el envejecimiento de la población, el incremento de enfermedades crónicas y la necesidad de transfusiones en procedimientos médicos y emergencias (Gammon, 2023).

- **Reguladores y organismos de salud:** Los reguladores se encargan de establecer normativas y estándares que garantizan la seguridad, calidad y trazabilidad de los productos sanguíneos. Instituciones como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Administración.

Alimentos y Medicamentos de EE. UU. (FDA) y la Asociación para el Avance de la Sangre y la Bioterapia (AABB) han desarrollado directrices para la recolección, almacenamiento y distribución de sangre, asegurando el cumplimiento de criterios de elegibilidad para donantes y procedimientos de transfusión seguros (Gammon, 2023).

Existen diferentes normativas que influyen hacia la cantidad de tiempo que la sangre puede ser almacenada y de que formas se debe efectuar el traslado, así como lo expone Leahy en 2017, los centros de sangre y hospitales deben cumplir con requisitos estrictos en cuanto a pruebas de enfermedades transmisibles y tiempos de almacenamiento, asegurando que la sangre transfundida cumpla con los más altos estándares de seguridad (Leahy, 2017).

4.2 Cadena de suministro farmacéutica y medicamentos (PSCM).

La cadena de suministro farmacéutica comprende una serie de procesos que incluyen la adquisición, almacenamiento, distribución y dispensación de medicamentos y otros insumos de salud, como lo expone Ordoñez Su correcto funcionamiento es clave para garantizar la disponibilidad de tratamientos esenciales y evitar el desabastecimiento en hospitales y farmacias. Esta sub-cadena del sistema de salud abarca todo lo relacionado con los medicamentos, todas las acciones necesarias para que los medicamentos lleguen oportunamente a los usuarios, una gestión eficiente de la logística de medicamentos asegura la disponibilidad de los insumos esenciales. Cabe mencionar que esta cadena es de suma importancia debido a que, el mal manejo de la logística puede ocasionar demoras, afectando la salud e integridad de los usuarios. (Ordoñez. M, 2024).

Según Narayana et al. (2014) es fundamental para el sector salud, ya que abarca desde la fabricación hasta la distribución de medicamentos, garantizando su disponibilidad y calidad en el sistema sanitario. La adecuada gestión de la cadena de suministro farmacéutica es un factor clave

para la seguridad del paciente, ya que permite la trazabilidad de los medicamentos desde su producción hasta su administración en centros de salud

Según los actores anteriormente mencionados, todos los entes de la cadena de suministro farmacéutica deben estar alineados para garantizar la puntualidad y eficiencia en la entrega de medicamentos e insumos médicos. La coordinación entre actores es fundamental para evitar demoras, optimizar recursos y asegurar la disponibilidad de tratamientos en el momento oportuno.

A continuación, se abordarán los principales actores con mayor relevancia en el proceso, quienes desempeñan un papel clave en la planificación, producción, distribución y dispensación de productos farmacéuticos:

- ***Proveedores de insumos médicos (materia prima):*** Los proveedores de insumos médicos son responsables de suministrar las materias primas necesarias para la producción de medicamentos y dispositivos médicos. Su papel es clave en la cadena de suministro, ya que influyen en la disponibilidad, calidad y costos de los productos farmacéuticos como expone Ordoñez Diaz (2024), el suministro de materia prima a los laboratorios clínicos es el primer proceso de la cadena de suministro farmacéutico, iniciando con la distribución de los materiales necesarios para la fabricación de los medicamentos y elementos médicos.

La adecuada coordinación entre los proveedores y los laboratorios farmacéuticos permite reducir costos, mejorar la trazabilidad y optimizar la producción de medicamentos esenciales como lo plantea Marques, Martins & Araújo, una comunicación efectiva entre las partes es fundamental para lograr una sinergia entre la oferta y la demanda de los bienes que cada actor de la cadena gestiona (Marques et al. ,2020).

- **Laboratorios farmacéuticos:** Los fabricantes de medicamentos son uno de los primeros eslabones de la cadena de suministro farmacéutica, teniendo la responsabilidad de fabricar todos los medicamentos necesarios para la preservación y cuidado de la salud, Según Ordoñez Díaz (2024), los laboratorios farmacéuticos son una parte fundamental, ya que se encargan de la investigación, desarrollo, producción y control de calidad de los medicamentos antes de su distribución en el sistema de salud.

Los laboratorios farmacéuticos colaboran estrechamente con centrales de distribución, hospitales, farmacias y otros actores clave del sistema de salud para garantizar que los medicamentos e insumos médicos estén disponibles de manera oportuna.

- **Centrales de distribución:** Las centrales de distribución de PSCM según Padma C Ramaiah (2024) explican que la logística en la distribución farmacéutica es clave para garantizar la eficiencia y seguridad en la entrega de medicamentos a los pacientes, realizan una labor importante al transportar los medicamentos desde los laboratorios, hasta los puntos donde se solicite, estos pueden ser clínicas, hospitales, farmacias, droguerías, entre otros.

Los canales de distribución farmacéutica incluyen laboratorios, centrales de distribución, IPS, y todos están interconectados y trabajan en conjunto con la finalidad de que haya disponibilidad de medicamentos cuando se requiera (Ordoñez. M, 2024).

Un factor importante de apreciar es la nueva era de tecnologías que se utilizan para la digitalización de la logística farmacéutica, Ali C Kannan (2022) señalan que la integración de laboratorios, distribuidores y puntos de venta en una red digital ha sido un avance significativo en la eficiencia de la cadena de suministro farmacéutica. De la misma forma Juhara (2024) menciona

que la digitalización de la logística farmacéutica ha mejorado la eficiencia en la distribución de medicamentos, minimizando pérdidas y tiempos de entrega.

- **Hospitales:** Los hospitales como uno de los receptores de los medicamentos o materiales para el uso médico son un ente interesado en que la distribución sea eficiente, Ariningsih et al. (2024) señalan que los hospitales y otras instalaciones médicas desempeñan un papel clave en la cadena de suministro de productos sanitarios, garantizando que los medicamentos y vacunas lleguen a los pacientes de manera segura y oportuna.

La comunicación entre entes distribuidores y receptores debe ser clara y específica y más si se trata de medicamentos necesarios para la salud de muchos ciudadanos, Best C Williams (2021) argumentan que la planificación y la colaboración entre hospitales y proveedores pueden fortalecer la cadena de suministro de insumos médicos, reduciendo vulnerabilidades ante crisis sanitarias.

- **Farmacias y droguerías:** Las farmacias y droguerías son el ente encargado de llevar los medicamentos y demás elementos a los usuarios, Ali C Kannan (2022) explican que las farmacias son actores clave en la cadena de suministro farmacéutica, ya que facilitan el acceso de los pacientes a los medicamentos mediante una gestión eficiente de inventarios y distribución. Su integración con otros actores de la cadena, como distribuidores, laboratorios y centros de salud, permite una coordinación efectiva que mejora la trazabilidad, la seguridad del paciente y la eficiencia operativa.

El contacto directo con los usuarios que soliciten medicamento lo realizan las farmacias, Khodae et al. (2022) subrayan que la eficiencia de las farmacias en la gestión de medicamentos es fundamental para evitar desabastecimientos y garantizar la continuidad del tratamiento en los

pacientes. El desabastecimiento de medicamentos son factores determinantes en las farmacias, pueden ser determinantes para el rendimiento de la droguería o farmacia.

- **Reguladores y organismos de salud:** Los entes reguladores y organismos de salud con respecto a los medicamentos y elementos relacionados, influyen a lo largo de la cadena de suministro farmacéutica, desde los laboratorios, distribuidores, hospitales o farmacias, Samara Ordoñez Díaz (2024) menciona que los organismos de salud supervisan la distribución de medicamentos en farmacias para evitar problemas como falsificaciones y malas prácticas de almacenamiento, como también lo menciona Narayana (2014), que afirman que con la finalidad de mejorar la seguridad y eficiencia en la distribución de medicamentos a farmacias y hospitales, han implementado nuevas regulaciones.

Los entes reguladores no solo hacen seguimiento a los medicamentos, sino también a la forma en la que se distribuyen, comercializan y almacenan, Ordoñez Díaz (2024) resalta que las normativas en la cadena de suministro farmacéutica son esenciales para garantizar que los medicamentos lleguen a los pacientes en óptimas condiciones desde las farmacias.

- **Pacientes:** Los pacientes comprenden la parte final de la PSCM, siendo los usuarios quienes adquieren los productos, "Los pacientes son el eslabón final de la cadena de suministro de medicamentos, y cualquier interrupción en la distribución puede afectar directamente su acceso a tratamientos esenciales" (Levner & Herbon, 2023).

4.3 Cadena de suministro hospitalaria (CSH-H).

La cadena de suministro hospitalaria es extensa, abarca diferentes componentes esenciales del sistema de salud, su definición un poco extensa, puede interpretarse desde una perspectiva muy amplia, Ordoñez Díaz (2024) explica que se define como un conjunto de procesos de planeación y herramientas que permiten garantizar la adquisición de los recursos fundamentales de los servicios de salud, brindando una calidad que favorezca la atención de los pacientes. (Ordoñez. M, 2024).

Como lo describen Ali y Kannan una gestión eficaz de la cadena de suministro hospitalaria puede mejorar significativamente la prestación de servicios de salud, minimizando retrasos y

garantizando un mejor uso de los recursos disponibles. Así como lo expone Juhara (2024) la CSH-H involucra la administración de equipos médicos insumos farmacéuticos y recursos humanos.

La gestión de insumos médicos como implementos quirúrgicos, dispositivos médicos, material de laboratorio, y medicamentos dentro de hospitales, clínicas, o unidades de salud alude a la definición de cadena de suministro hospitalaria, así como Ruíz-Orjuela et al. (2023) explican que la adecuada gestión de la cadena de suministro hospitalaria es esencial para mantener la disponibilidad de insumos y mejorar la eficiencia operativa en los hospitales.

- ***Group Purchasing Organizations (GPO):*** Son entidades que agrupan múltiples hospitales y clínicas con el fin de consolidar la demanda de insumos médicos y mejorar su poder de negociación con proveedores. Este modelo permite obtener precios más competitivos y optimizar la cadena de suministro hospitalaria al reducir costos y mejorar la eficiencia en la adquisición de productos sanitarios (Callender, C., & Grasman, S., 2010). En Estados Unidos, los GPO han sido ampliamente adoptados como intermediarios entre las entidades prestadoras de salud y los fabricantes de medicamentos o dispositivos médicos, garantizando compras en volumen con condiciones favorables tanto para hospitales como para proveedores

- ***Proveedores insumos médicos:*** Los proveedores de insumos médicos son empresas o entidades encargadas de fabricar, distribuir y comercializar productos como medicamentos, dispositivos médicos y material de uso hospitalario, asegurando su disponibilidad y cumplimiento de estándares regulatorios (Ordoñez, 2019). Estos proveedores pueden ser comercializadoras de diferentes índoles, como farmacéutica, proveedores de insumos de protección personal, materiales médico-quirúrgico y dispositivos médicos desechables

- **4.3.3. Proveedores de servicios de salud:** Según Aguirre et al. (2015), un proveedor de servicios de salud es una entidad o institución encargada de ofrecer atención médica en distintos niveles, desde la consulta ambulatoria hasta la hospitalización y tratamientos especializados. Estas organizaciones pueden ser públicas o privadas y operan dentro de una red de prestación de servicios que varía según su complejidad y capacidad operativa.

Las clínicas, de acuerdo con Ali y Kannan (2022) son establecimientos que brindan atención médica ambulatoria en diversas especialidades. A diferencia de los hospitales, no siempre cuentan con infraestructura para hospitalización y suelen centrarse en el diagnóstico, consulta externa y tratamientos específicos. Su propósito principal es atender patologías de menor complejidad y realizar procedimientos médicos que no requieren internación prolongada.

Por otro lado, Gatica-González afirma que los hospitales son instituciones que proporcionan atención médica especializada, incluyendo hospitalización, cirugía y el tratamiento de enfermedades complejas. Estos centros cuentan con múltiples especialidades médicas y quirúrgicas, además de servicios de diagnóstico y emergencias, lo que les permite manejar una mayor diversidad de casos y niveles de gravedad (Ruíz-Orjuela et al., 2023).

Finalmente, los puntos de salud, también conocidos como centros de atención primaria, constituyen el primer nivel de contacto entre la población y el sistema de salud. Estos establecimientos ofrecen servicios básicos y preventivos, como vacunación, control prenatal y atención de enfermedades comunes, con el objetivo de descongestionar los hospitales y garantizar un acceso oportuno a la atención médica (Aguirre et al. 2015).

Por lo tanto, se puede concluir que la diferencia entre estos tipos de instituciones radica en su capacidad organizacional, infraestructura y nivel de atención, pero todos son proveedores de atención médica según el estado y las necesidades de los usuarios.

- **Atención médica:** La atención médica es el conjunto de servicios destinados a la prevención, diagnóstico, tratamiento y rehabilitación de enfermedades, con el objetivo de mejorar la salud de los pacientes. Según Ruíz-Orjuela et al. (2022), estos servicios abarcan desde el personal médico, administrativo, las herramientas necesarias para la prestación de servicios, así como lo expone (Gatica-González, G., & Adarme-Jaimes, W, 2022), la atención médica no solo implica la prestación directa del servicio al paciente, sino también la administración de recursos humanos, y procesos logísticos

- **Homecare:** El término Homecare o cuidado en casa, es un modelo de atención extrahospitalaria que permite a los pacientes recibir servicios médicos en su domicilio con la asistencia de profesionales de la salud. Según el Plan Obligatorio de Salud este modelo busca proporcionar soluciones médicas en el hogar, involucrando a la familia en el proceso de recuperación y reduciendo la carga sobre las instituciones hospitalarias (Plan Obligatorio de Salud, 2011). Este modelo conlleva a diferentes factores importantes desde el ámbito de investigaciones como los modelos en los que, desde la perspectiva de la investigación de operaciones, la planificación del personal y la optimización de rutas son elementos clave en el homecare. Gutiérrez C Vidal (2008) identifican que la logística del homecare presenta desafíos como la gestión eficiente de los itinerarios del personal de salud, la reducción de costos operativos y la mejora en la asignación de visitas según la demanda de los pacientes.

La optimización del ruteo del personal médico en homecare ha sido estudiada bajo modelos matemáticos y técnicas de inteligencia artificial para mejorar la asignación de recursos y minimizar

tiempos de traslado (Hossain, M. I., & Parvez, M. S, 2020). Estas metodologías buscan maximizar la cobertura de pacientes y reducir costos en la atención domiciliaria, garantizando una mejor eficiencia operativa.

- ***Ambulancias:*** La optimización de rutas de ambulancias considera factores como la densidad poblacional, la distribución geográfica de hospitales y centros de atención, así como el tráfico en tiempo real. Para ello, se utilizan algoritmos de inteligencia artificial y sistemas de información geográfica (SIG), los cuales mejoran la capacidad de toma de decisiones en tiempo real y garantizan un uso eficiente de los recursos (Gatica-González, G., & Adarme-Jaimes, W, 2022).

- ***Pacientes:*** Los pacientes hospitalarios son el centro de la prestación de servicios de salud y su gestión es clave para garantizar una atención eficiente y de calidad. Según Volland et al. (2017) la variabilidad en la demanda de pacientes dificulta la integración de la cadena de suministro hospitalaria, lo que hace necesario el desarrollo de estrategias de pronóstico para asegurar la disponibilidad de insumos y servicios.

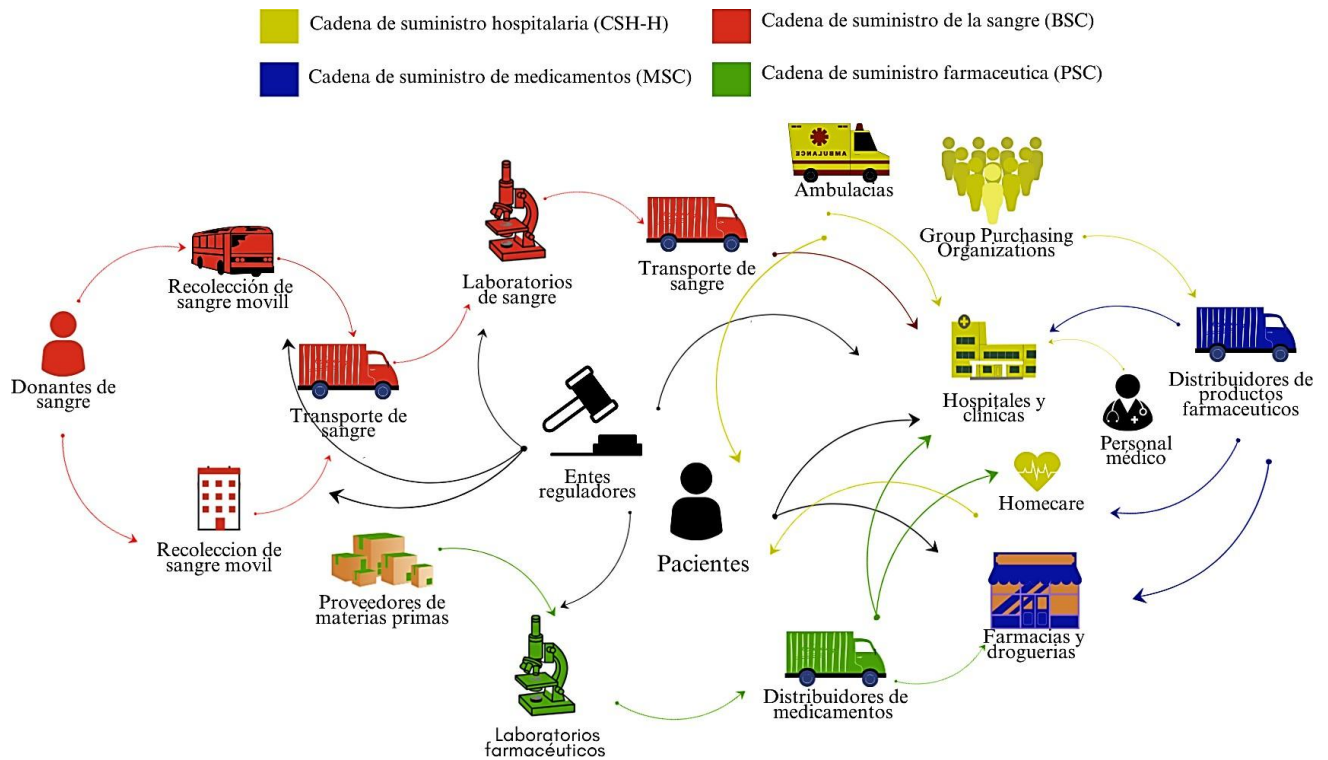
- ***Entes reguladores de sistema de salud:*** Los entes reguladores del sistema de salud son organismos encargados de supervisar, coordinar y garantizar que la prestación de servicios hospitalarios cumpla con los estándares de calidad y accesibilidad definidos por la legislación. En Colombia, la regulación del sector salud está enmarcada en la Ley 100 de 1993 y la Ley 1122 de 2007, las cuales establecen la estructura del sistema general de seguridad social en salud (Ministerio de Salud, 1994).

4.4 Relaciones entre actores

Las relaciones entre los actores anteriormente mencionados son una parte fundamental para el entendimiento de la red, el eje central de esta red son los pacientes, por lo cual se establece como el último eslabón en las diferentes sub-cadenas, como lo define Pirabán, Guerrero & Labadie (2019) la BSC se gestiona a partir de cinco eslabones, iniciando con los donantes, sitios de recolección, laboratorios, distribuidores, nodos de demanda (clínicas y hospitales) y pacientes. Por otra parte, como lo expone Marques et al. (2020) la PSCM incluye a grandes rasgos a la de medicamentos, dentro de sus actores, las relaciones inician con los distribuidores de materias primas para medicamentos, y de insumos médicos diferentes de a los medicamentos, distribuidores, farmacias, clínicas, hospitales y demás entes interesados.

Así mismo la CSH-H donde las relaciones de los actores inician en los proveedores de insumos médicos, distribuidores, hospitales y unidades de atención para los pacientes (Ruíz-Orjuela, 2023).

Figura 10.
Cadena de suministro del sector salud



La Figura 10. representa la estructura y las interrelaciones dentro de la cadena de suministro en el sector salud, considerando los actores más relevantes desde una perspectiva de Investigación de Operaciones. Si bien existen múltiples participantes en el sistema, se han priorizado aquellos cuya influencia en la gestión de flujos logísticos, optimización de recursos y toma de decisiones es más significativa dentro de esta disciplina.

5. Identificación de problemas críticos

A partir de la literatura, se evidencia que la cadena de suministro del sector salud presenta problemas estructurales, a diferencia de cadenas de suministro industriales, esta opera bajo condiciones de alta incertidumbre, demanda fluctuante y restricciones regulatorias, diversos

estudios han señalado que la fragmentación entre actores, la baja integración de información y la limitada colaboración interinstitucional generan ineficiencias sistémicas que afectan la disponibilidad y continuidad del servicio (Ordoñez Montilla, 2021)

En consecuencia, la revisión de literatura permite identificar que dichas deficiencias no corresponden a situaciones aisladas, sino a problemáticas estructurales recurrentes dentro de la cadena de suministro del sector salud, las cuales pueden analizarse desde la perspectiva de la investigación de operaciones como problemas de decisión, asignación y optimización bajo incertidumbre.

Por lo cual, con base en la evidencia encontrada, esta sección se divide en tres problemáticas críticas más representativas: (1) problemas de coordinación y visibilidad en redes multi-actor; (2) ineficiencias en la gestión y clasificación de inventarios hospitalarios; y (3) problemas complejos de ruteo y distribución bajo restricciones sanitarias;

5.1 Problemas de coordinación y visibilidad en redes multi-actor

La literatura señala que uno de los problemas estructurales más relevantes en la cadena de suministro del sector salud corresponde a la limitada coordinación entre actores y a la baja visibilidad de la información a lo largo de la red logística. A diferencia de cadenas industriales con mayor integración vertical, la cadena de suministro en salud se caracteriza por una estructura fragmentada que involucra múltiples organizaciones, proveedores, distribuidores, hospitales, centros de atención y entidades regulatorias, cuyos sistemas de información no siempre se encuentran interconectados, generando problemas de información y decisiones desalineadas.

Se ha evidenciado que la visibilidad, la velocidad y la variabilidad constituyen conceptos críticos para lograr esquemas de logística eficientes; sin embargo, los modelos tradicionales

presentan fallas que limitan el acceso oportuno a información sobre inventarios y disponibilidad de medicamentos y dispositivos médicos (Ordoñez Montilla, 2021), La ausencia de transparencia y monitoreo en tiempo real dificulta la anticipación de desabastecimientos y favorece respuestas reactivas en lugar de estrategias de planificación preventiva.

Desde la perspectiva de la gestión del riesgo en cadenas de suministro en salud, la visibilidad y el intercambio de información han sido identificados como factores determinantes para fortalecer la resiliencia del sistema. La falta de integración informacional reduce la capacidad de respuesta ante disrupciones y compromete la continuidad del servicio, particularmente en contextos de alta incertidumbre como la pandemia de COVID-19 (Latif, 2024; Azadi et al., 2021).

Adicionalmente, investigaciones recientes destacan que tecnologías emergentes como blockchain, IoT y sistemas digitales de monitoreo pueden contribuir a mejorar la visibilidad y la coordinación entre actores, al facilitar trazabilidad, transparencia y confianza en la red logística (Omar, 2023). No obstante, se reportan barreras estructurales relacionadas con la fragmentación de datos, baja interoperabilidad de sistemas y limitaciones organizacionales que restringen la adopción efectiva de estas soluciones (Dias, 2025)

5.2 Ineficiencias en la gestión y clasificación de inventarios hospitalarios

La gestión de inventarios constituye un eje estructural dentro de la cadena de suministro en el sector salud, dado que impacta directamente tanto la eficiencia operativa como los resultados clínicos. Los hospitales, especialmente aquellos de alta complejidad, manejan una amplia diversidad de insumos médicos distribuidos en múltiples especialidades y ubicaciones físicas, lo que incrementa la complejidad del sistema de inventario (Durmuş, 2025). En este contexto, los costos de materiales representan entre el 30% y el 40% de los gastos operativos hospitalarios, lo que evidencia la relevancia de una gestión eficiente (Durmuş, 2025).

La literatura señala que los modelos tradicionales de inventario en el sector salud suelen basarse en revisiones periódicas, cálculos manuales de punto de reorden y registros históricos básicos, apoyados en hojas de cálculo y documentación física. Aunque estos enfoques permiten una gestión básica del abastecimiento, presentan limitaciones significativas para adaptarse a variaciones abruptas en la demanda de pacientes y a la variabilidad en tiempos de entrega (Dias, 2025). La falta de análisis predictivo y de utilización de grandes volúmenes de datos históricos conduce a altos niveles de inventario de seguridad, mayores costos de almacenamiento y, simultáneamente, episodios de desabastecimiento.

Asimismo, se ha documentado que la incertidumbre en la demanda, las fluctuaciones estacionales, la variabilidad en consumo clínico y la dispersión del inventario en múltiples ubicaciones incrementan la complejidad del problema (Sierra Espinel, 2024). Estas condiciones generan decisiones de compra reactivas que afectan la financieramente y pueden comprometer la seguridad del paciente cuando los insumos críticos no se encuentran disponibles en el momento requerido.

La literatura también identifica barreras significativas para la adopción efectiva de sistemas analíticos avanzados en entornos hospitalarios. La fragmentación de datos entre departamentos, la baja interoperabilidad de sistemas, la ausencia de integración entre ERP y sistemas clínicos, y la resistencia organizacional al cambio limitan la implementación de soluciones basadas en inteligencia artificial (Bichescu, 2025). Incluso en contextos donde existen sistemas de planificación empresarial (ERP) y sistemas de gestión de almacenes (WMS), se han reportado configuraciones de red y procesos de inventario que generan vencimientos, compras con corta fecha de expiración y pérdidas financieras significativas (AlZaidan, 2024).

5.3 Problemas complejos de ruteo y distribución bajo restricciones sanitarias

La distribución de productos médicos en el sector salud constituye uno de los problemas operacionales más complejos dentro de la cadena de suministro sanitaria. Este proceso involucra simultáneamente decisiones sobre diseño de red, localización de nodos logísticos y ruteo de vehículos, las cuales deben ser coordinadas para garantizar la disponibilidad oportuna de insumos críticos en hospitales y centros de atención. A diferencia de otros sectores, la logística sanitaria debe operar bajo restricciones adicionales relacionadas con la seguridad del paciente, condiciones de almacenamiento especializadas y alta incertidumbre en la demanda.

Dentro de este contexto, el Vehicle Routing Problem (VRP) y sus múltiples variantes han sido ampliamente identificados como uno de los problemas más relevantes en el nivel de decisión operacional en redes de salud resilientes (Maheshwari, 2023). Estos modelos buscan determinar rutas óptimas para la distribución de productos médicos considerando restricciones como capacidad vehicular, ventanas de tiempo, tiempos de servicio y limitaciones regulatorias.

Durante escenarios de crisis sanitarias, como la pandemia de COVID-19, la complejidad de estos problemas se incrementa significativamente. Las redes hospitalarias enfrentaron restricciones de movilidad, reducción en la capacidad de transporte, implementación de protocolos de bioseguridad y cambios abruptos en los patrones de demanda. Estas condiciones transformaron los modelos tradicionales de ruteo en problemas dinámicos y estocásticos, que requieren procesos de reoptimización continua para responder a la evolución de las condiciones operativas (Maheshwari, 2023). La incorporación simultánea de múltiples restricciones incrementa sustancialmente la complejidad computacional del problema.

Adicionalmente, la literatura evidencia que el desempeño de las decisiones de ruteo está estrechamente condicionado por la estructura de la red logística y la localización de los nodos de

distribución. Una clasificación inadecuada de almacenes, centros de consolidación o bancos de sangre puede generar mayores distancias de transporte, desbalances de inventario y menores niveles de servicio. En este sentido, diversos estudios han abordado el diseño de redes sanitarias mediante modelos de localización-asignación basados en programación lineal entera mixta (MILP), demostrando que una localización estratégica alineada con la distribución geográfica de la demanda permite reducir costos logísticos y mejorar la eficiencia distributiva frente a configuraciones descentralizadas no optimizadas (Lakerbache, 2024).

El problema se vuelve aún más crítico cuando se trata de productos altamente perecederos, como los componentes sanguíneos. En estos casos, la logística debe cumplir restricciones estrictas de tiempo y temperatura, ya que las unidades recolectadas deben ser procesadas y transportadas dentro de ventanas temporales limitadas para evitar su deterioro. Estudios recientes han modelado este tipo de operaciones como variantes del VRP que incorporan límites de procesamiento, tiempos máximos de llegada y múltiples viajes de vehículos, con el objetivo de maximizar el número de unidades recolectadas que cumplen con los requisitos clínicos de procesamiento (Pirabán-Ramírez, 2022).

Debido a que el VRP y sus variantes pertenecen a la clase de problemas NP-hard, los modelos exactos basados en programación matemática se vuelven computacionalmente costosos cuando se aplican a redes de gran escala. Por esta razón, la literatura reciente ha incorporado enfoques híbridos que combinan programación matemática, heurísticas y metaheurísticas para obtener soluciones de alta calidad en tiempos computacionales razonables. Entre estos enfoques se encuentran algoritmos híbridos que integran técnicas como búsqueda local iterada, programación dinámica y algoritmos evolutivos para mejorar la eficiencia del ruteo en contextos sanitarios complejos (Lakerbache, 2024)

En síntesis, la evidencia científica muestra que los problemas de distribución en el sector salud integran simultáneamente decisiones estratégicas de diseño de red, decisiones tácticas de localización y asignación de flujos, y decisiones operacionales de ruteo de vehículos bajo múltiples restricciones. La interacción entre estos niveles incrementa la dimensionalidad del problema y dificulta su resolución mediante enfoques tradicionales de planificación, manteniendo el ruteo sanitario como uno de los desafíos más relevantes en la optimización de las cadenas de suministro en salud.

La *Tabla 3*. sintetiza algunos de los principales enfoques metodológicos utilizados en la literatura para abordar problemas de ruteo y distribución en redes sanitarias, evidenciando la diversidad de modelos de optimización empleados para enfrentar restricciones operativas, sanitarias y logísticas propias del sector salud.

Tabla 3
Problemas encontrados en literatura

Problema logístico abordado	Modelo o enfoque de optimización	Artículo / Estudio
Entrega de sangre mediante drones en redes hospitalarias con restricciones de tiempo, capacidad y cadena de frío	Metaheurística híbrida (Nearest Neighbour + Genetic Algorithm + Simulated Annealing)	<i>A metaheuristic approach for optimizing drone routing in healthcare supply chains</i> (Lakhwani & Sinjana, 2024)
Ruteo resiliente de vehículos con recolección y entrega simultánea durante interrupciones sanitarias	Programación Dinámica (DP) combinada con Particle Swarm Optimization (PSO)	<i>Resilient healthcare network for simultaneous product allocations during supply chain disruptions</i> (Maheshwari et al., 2023)
Recolección y transporte de unidades de sangre desde múltiples centros hacia un banco de sangre	Programación Lineal Entera Mixta (MILP) y metaheurística Hybrid-ILS	<i>Multi-trip vehicle routing problem with increasing profits for blood collection systems</i> (Pirabán-Ramírez et al., 2022)

Diseño de redes logísticas sanitarias y localización óptima de centros de distribución	Modelos de localización-asignación basados en MILP	Lakerbache et al. (2024)
Optimización del ruteo sanitario bajo múltiples restricciones operativas (capacidad, ventanas de tiempo, demanda incierta)	Variantes del Vehicle Routing Problem (VRP) con heurísticas y metaheurísticas	Maheshwari et al. (2023)

A partir de los estudios analizados, se puede concluir que la solución a problemas asociados al ruteo, la recolección y el diseño de redes logísticas en el sector salud se fundamenta principalmente en el uso de modelos de optimización matemática. En particular, se destaca el uso de la Programación Lineal Entera Mixta (MILP) para la formulación de problemas de localización, asignación y planificación, así como el desarrollo de variantes del Vehicle Routing Problem (VRP) para abordar la distribución y recolección bajo múltiples restricciones operativas.

6. Cadena de suministro del sector salud en el área metropolitana de Bucaramanga

Para caracterizar la cadena de suministro del sector salud en Bucaramanga y su área metropolitana, se realizó una revisión de literatura gris basada en documentos oficiales y técnicos disponibles públicamente.

La búsqueda incluyó planes territoriales de salud, informes de gestión institucional, boletines epidemiológicos, resoluciones municipales, reportes de entidades de control y documentos técnicos emitidos por la Alcaldía de Bucaramanga, la Secretaría de Salud, el ISABU y otras entidades relacionadas con la prestación del servicio.

Los documentos fueron seleccionados con base en su pertinencia para describir la estructura del sistema, los actores involucrados y los procesos relacionados con prestación,

abastecimiento y gestión hospitalaria en la región. La información recopilada fue organizada para permitir una posterior comparación con el modelo general de cadena de suministro identificado en la literatura.

6.1 Marco de referencia

El presente estudio se contextualiza en el Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), conformada por los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta, unidad territorial reconocida oficialmente como esquema asociativo para la planificación y gestión regional. Esta configuración implica una interdependencia funcional en materia económica, social y de prestación de servicios, incluido el sector salud.

De acuerdo con el Informe de Calidad de Vida 2024 – Área Metropolitana de Bucaramanga, el territorio metropolitano concentra dinámicas económicas, demográficas y sociales articuladas entre los cuatro municipios, las cuales son medidas de forma integrada mediante indicadores territoriales consolidados (Informe de calidad de vida, 2024)

Según las proyecciones de población del DANE basadas en el Censo Nacional de Población y Vivienda 2020, el Área Metropolitana concentra la mayor proporción poblacional del departamento de Santander, con una estructura demográfica caracterizada por un incremento en la población en edad de trabajar y transformaciones en su composición etaria (DANE, 2020)

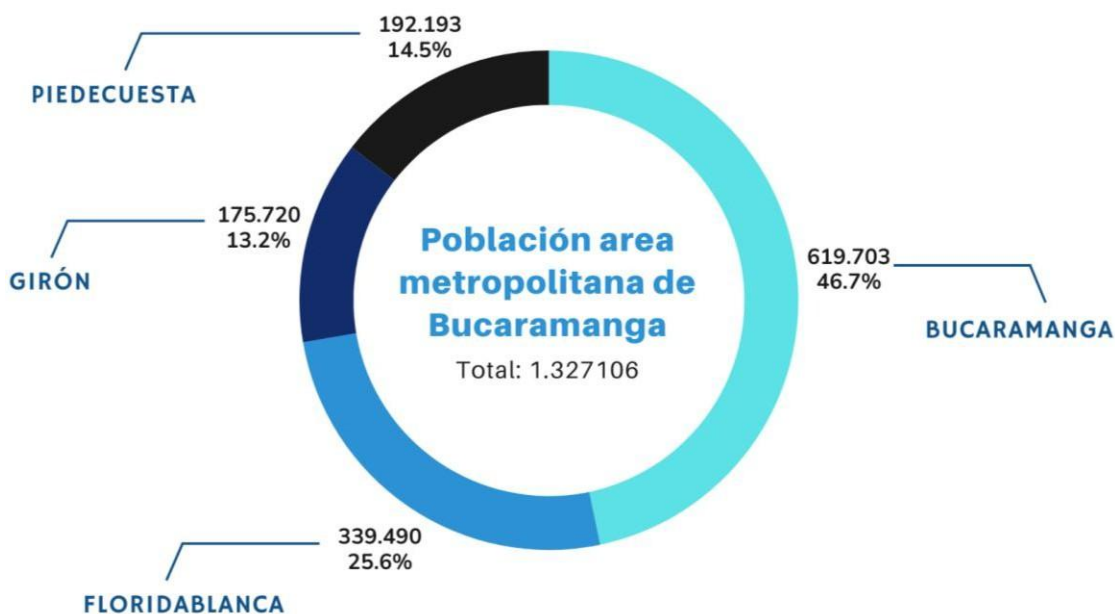
Esta configuración territorial resulta relevante para el análisis de la cadena de suministro en salud, dado que la prestación de servicios, la distribución de IPS públicas y privadas, y los flujos de demanda asistencial operan bajo una lógica metropolitana más que estrictamente municipal. En consecuencia, la caracterización que se presenta a continuación adopta una perspectiva regional

6.2 Caracterización demográfica del Área Metropolitana de Bucaramanga

Según certificaciones oficiales del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), la población proyectada a junio 30 de 2024 en los municipios que conforman el Área Metropolitana de Bucaramanga es la siguiente: Bucaramanga 619.703 habitantes, Floridablanca 339.490, Girón 175.720 y Piedecuesta 192.193 (Departamento Administrativo Nacional de Estadística., 2025)

En conjunto, el Área Metropolitana concentra aproximadamente 1.327.106 habitantes, consolidándose como el principal núcleo urbano del departamento de Santander.

Figura 11.
Población del Area metropolitana de Bucaramanga



Como se observa en la *Figura 11*, la distribución poblacional presenta una marcada concentración en Bucaramanga (46,7%) y Floridablanca (25,6%), que en conjunto superan el 70%

del total metropolitano. Por su parte, Piedecuesta representa el 14,5% y Girón el 13,2% de la población total. Esta configuración evidencia una centralidad demográfica en el municipio núcleo, acompañada de una expansión significativa hacia los municipios cercanos.

Esta magnitud y distribución territorial constituyen un elemento fundamental para el análisis del sistema de salud, en la medida en que determinan la demanda potencial de servicios, la planificación de la capacidad instalada y la organización logística de la red de prestación en el ámbito metropolitano.

6.3 Identificación de actores del sistema de salud

En la revisión de literatura se identificaron los actores de la cadena de suministro del sector salud a partir de tres sub-cadenas principales: cadena de suministro de sangre (BSC), cadena farmacéutica y de medicamentos (PSCM) y cadena de suministro hospitalaria (CSH-H) (Marques, J., Martins, A., & Araújo, M., 2020). Sin embargo, al trasladar esta estructura al contexto del Área Metropolitana de Bucaramanga, se observa que varios actores participan simultáneamente en más de una sub-cadena, lo que genera redundancias.

Por esta razón, para efectos de la caracterización territorial y con el fin de evitar redundancias, los actores serán reorganizados bajo un criterio general, basado en su rol dentro del sistema (regulación, aseguramiento, prestación y soporte logístico), manteniendo coherencia con la estructura normativa del Sistema General de Seguridad Social en Salud (Congreso de la República de Colombia, 1993)

Esta reclasificación no modifica la segmentación teórica previamente desarrollada, sino que permite una representación más clara de la dinámica operativa del sistema en el ámbito metropolitano.

- **Entes de regulación y gobernanza:** Las autoridades de regulación y vigilancia corresponden a los entes responsables de formular políticas públicas, ejercer inspección, vigilancia y control, y garantizar el cumplimiento de los principios del Sistema General de Seguridad Social en Salud (SGSSS), conforme a lo establecido en la Ley 100 de 1993 (Congreso de la **República** de Colombia, 1993, Ley 100) y el Decreto 780 de 2016 (Ministerio de Salud y Protección Social, 2016, Decreto 780) .En el Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB) se identifican los siguientes actores:

- **Ministerio de Salud y Protección Social (MSPS):** Es la máxima autoridad administrativa del sector salud en Colombia. Tiene como función formular, adoptar, dirigir y coordinar la política pública en salud y protección social, así como definir lineamientos técnicos, regulatorios y operativos que orientan el funcionamiento del sistema en todo el territorio nacional (Ministerio de Salud y Protección Social, 2016).

Desde la perspectiva de la cadena de suministro, el MSPS establece criterios relacionados con habilitación de servicios, trazabilidad de medicamentos, regulación de dispositivos médicos y lineamientos para la gestión de recursos.

- **Superintendencia Nacional de Salud (Supersalud):** Es el ente encargado de la inspección, vigilancia y control del SGSSS. Supervisa el cumplimiento de las obligaciones por parte de las EPS y las IPS, con el fin de garantizar la protección del derecho fundamental a la salud (Superintendencia Nacional de Salud, 2023)

En el contexto territorial, la Supersalud realiza actividades de seguimiento, auditoría y control, y desarrolla espacios de interacción con actores locales como el evento “Diálogo con la Supersalud” realizado en Bucaramanga para fortalecer la articulación institucional y el control

social del sistema, su rol impacta directamente en los flujos financieros y contractuales entre aseguradores y prestadores.

- **Secretaría de Salud y Ambiente de Bucaramanga (SSAB):** Es la autoridad sanitaria municipal responsable de ejecutar políticas de salud pública, liderar procesos de inspección, vigilancia y control en el municipio, además coordinar acciones con otros actores del sistema (Alcaldía de Bucaramanga, 2024)

Según el Plan de Desarrollo Municipal 2024–2027, dentro del programa de “Inspección, vigilancia y control”, la Secretaría desarrolla auditorías y visitas orientadas a garantizar el cumplimiento de estándares en el sector salud.

- **Secretaría de Salud Departamental de Santander:** En el SGSSS, el nivel departamental cumple un rol de autoridad sanitaria territorial que articula la gestión de la salud pública en su jurisdicción y coordina acciones con los municipios, en coherencia con el marco del aseguramiento y la organización de servicios. En esa lógica, la Secretaría de Salud Departamental se vincula especialmente con funciones de planeación territorial, gestión de la salud pública (incluida la vigilancia en salud pública), y coordinación/seguimiento de acciones sectoriales que requieren articulación regional (Congreso de la República de Colombia., 2011)

- **Centro Regulador de Urgencias y Emergencias (CRUE) – Santander:** El CRUE se entiende como una instancia de coordinación operativa para la atención de urgencias y emergencias, conectada a los procesos de referencia y contrarreferencia dentro de la red de prestación. En Santander, su existencia y adscripción institucional se evidencia en actos administrativos del territorio: por ejemplo, una resolución hospitalaria dispone comunicar decisiones “especialmente al Centro Regulador de Urgencias y Emergencias – CRUE adscrito a la

Secretaría de Salud de Santander”, lo que confirma su rol como actor formal dentro de la gestión del sistema a nivel departamental.

Desde la perspectiva operacional, este actor funciona como un nodo coordinador en tiempo real, porque su operación se relaciona con la asignación de recursos críticos (p. ej., capacidad disponible y priorización en urgencias) y la articulación de flujos entre prestadores, lo cual se conecta directamente con problemas de ruteo, tiempos de respuesta y continuidad del servicio bajo restricciones (Ministerio de Salud y Protección Social, 2016).

A partir de la caracterización de actores institucionales realizada en esta sección y con base en la estructura del Sistema General de Seguridad Social en Salud establecida en la Ley 100 de 1993 y el Decreto 780 de 2016, se propone la siguiente organización jerárquica de las autoridades de regulación y coordinación presentes en el Área Metropolitana de Bucaramanga.

Figura 12.
Estructura jerárquica de las autoridades de regulación en el AMB



La estructura diferencia tres niveles funcionales: estratégico, táctico y operativo. En el nivel estratégico se ubica el Ministerio de Salud y Protección Social, como autoridad nacional encargada de la formulación normativa y dirección del sistema. En el nivel táctico se sitúan la Secretaría de Salud Departamental de Santander y la Superintendencia Nacional de Salud, responsables de la articulación territorial y del ejercicio de inspección, vigilancia y control. Finalmente, en el nivel operativo se identifica el Centro Regulador de Urgencias y Emergencias (CRUE), que actúa como instancia de coordinación funcional en la red de prestación ante eventos de urgencia.

- ***Entidades de aseguramiento en el Área Metropolitana de Bucaramanga:*** Dentro del Sistema General de Seguridad Social en Salud (SGSSS), las Entidades Promotoras de Salud (EPS) cumplen el rol de aseguramiento, siendo responsables de la afiliación de los usuarios, la gestión del riesgo en salud, la administración de los recursos financieros y la organización de la red de prestación de servicios para sus afiliados (Congreso de la República de Colombia, 1993)

Desde la perspectiva de la cadena de suministro del sistema de salud, las EPS actúan como nodos entre la demanda (usuarios) y la oferta de servicios (IPS, laboratorios, centros diagnósticos y proveedores de medicamentos). Su función incluye la contratación de redes de prestación, la autorización de servicios, la gestión de pagos y el seguimiento a los resultados en salud, lo que impacta directamente en los flujos de información, financieros y de servicios dentro del sistema.

En el municipio de Bucaramanga, según los registros de afiliación reportados por la Secretaría de Salud y Ambiente de Bucaramanga, a corte de agosto de 2025 se registran 781.207 afiliados al SGSSS, distribuidos en los regímenes contributivo, subsidiado y de excepción. Esta cifra refleja una cobertura total frente a la población estimada por el DANE para el municipio, evidenciando un alto nivel de aseguramiento en el territorio (Ministerio de Salud y Protección Social., 2025)

No obstante, es importante señalar que el número de afiliados supera la población estimada para el municipio. Esta diferencia se explica porque el registro de afiliación en el sistema de aseguramiento no necesariamente corresponde al lugar de residencia del usuario, sino al municipio donde se encuentra registrada la EPS o donde se realiza el proceso administrativo de afiliación. En este sentido, Bucaramanga funciona como un nodo, concentrando afiliaciones de usuarios provenientes de otros municipios cercanos del área metropolitana y del departamento de Santander.

En términos de distribución por entidades aseguradoras, la afiliación se concentra principalmente en un grupo reducido de EPS. Como se observa en la Tabla 4, las entidades con mayor número de afiliados en Bucaramanga son *Nueva EPS*, *EPS Sanitas*, *Salud Total EPS* y *EPS Sura*, las cuales concentran la mayor participación dentro del régimen contributivo. Por su parte, Coosalud presenta una participación relevante en el régimen subsidiado, asociada principalmente a la población cubierta por la red pública.

Esta concentración de afiliados en un número reducido de entidades aseguradoras tiene implicaciones directas en la organización de la red de prestación de servicios, ya que las decisiones de contratación y gestión realizadas por estas EPS influyen en la asignación de pacientes, los flujos financieros y la utilización de la capacidad instalada dentro del sistema de salud en el territorio.

Tabla 4

Distribución de afiliados al SGSSS por EPS en Bucaramanga

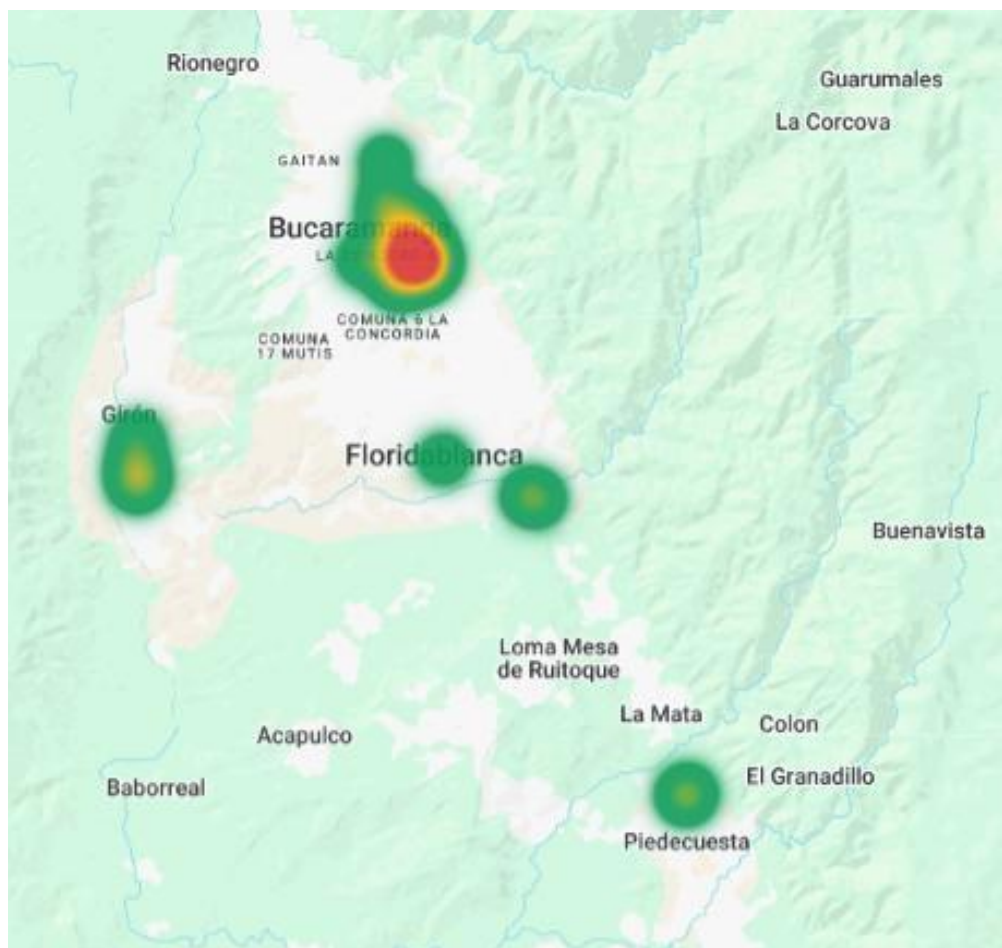
EPS	Contributivo	Subsidiado	Excepción y especiales	Total afiliados
Nueva EPS	121.824	80.254		202.078
EPS Sanitas	128.467	27.996		156.463

Salud Total EPS	93.794	37.010	130.804
EPS Sura	84.090	24.232	108.322
Coosalud	10.910	75.506	86.416
Famisanar EPS	29.733	19.535	49.268
Régimen de excepción		23.594	23.594
Fundación Salud Mía EPS	12.906	4.510	17.416
Ferrocarriles Nacionales	1.119		1.119

Con el propósito de identificar la localización de las entidades de aseguramiento en el Área Metropolitana de Bucaramanga, se elaboraron mapas de calor a partir de la georreferenciación de las sedes de las EPS, utilizando la herramienta Looker Studio.

Figura 13.

Mapa de calor de la localización de las EPS en el Área Metropolitana de Bucaramanga

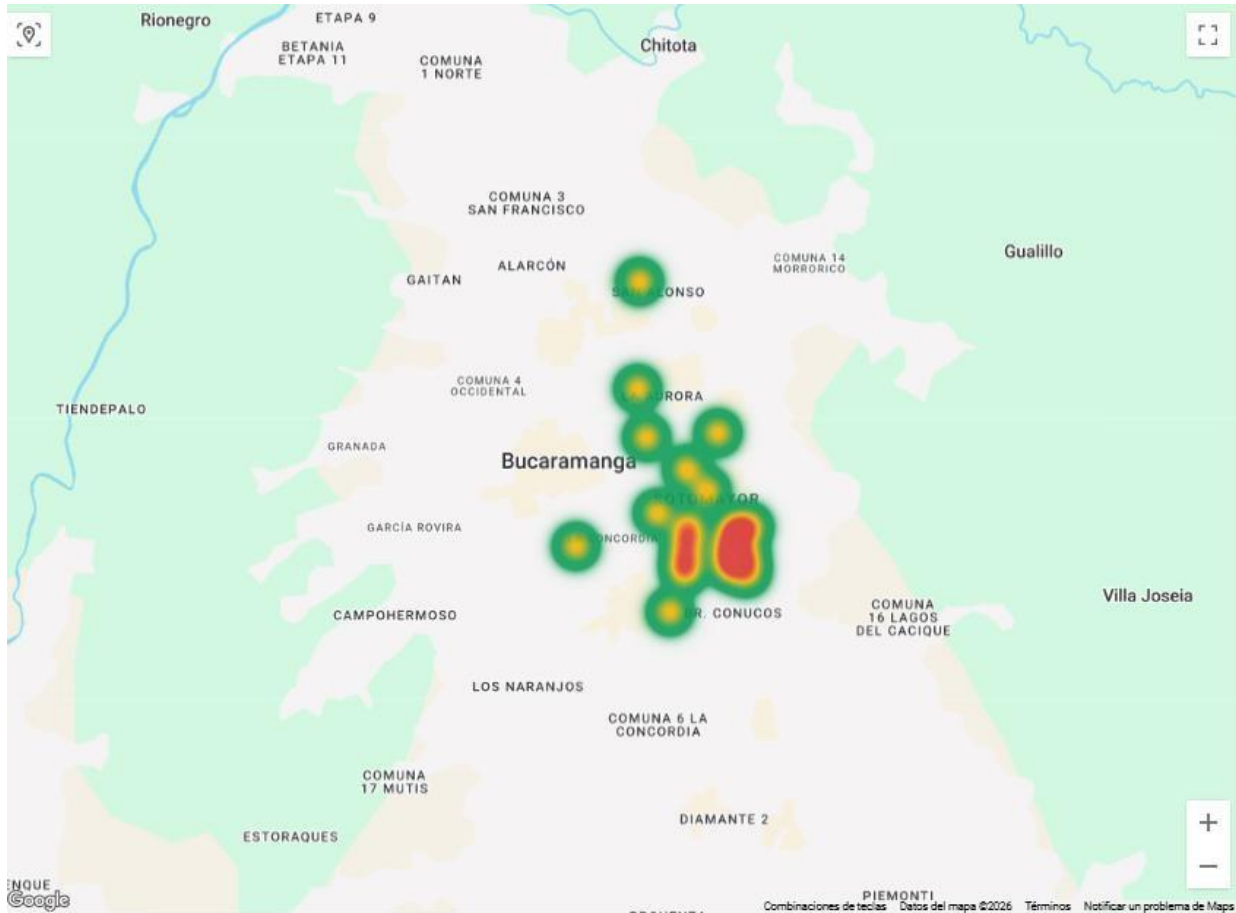


Como se observa en la *Figura 13*, las EPS presentan una mayor concentración en el municipio de Bucaramanga, particularmente en zonas urbanas centrales, mientras que en municipios como Floridablanca, Girón y Piedecuesta su presencia es más dispersa. Este comportamiento evidencia el papel de Bucaramanga como nodo principal del sistema de aseguramiento dentro del área metropolitana.

Como se observa en la *Figura 14*, las EPS se concentran principalmente en sectores centrales y de alta actividad urbana, como Cabecera del Llano, Sotomayor y sus alrededores, donde se evidencian mayores niveles de densidad. En contraste, hacia zonas periféricas la presencia de

estas entidades es menor y más dispersa, lo que confirma la centralización de los servicios de aseguramiento dentro del municipio.

Figura 14.
Mapa de calor de la localización de las EPS en Bucaramanga



A partir de la estructura de aseguramiento descrita anteriormente, resulta necesario analizar la red de prestadores encargados de brindar los servicios de salud a la población afiliada, lo cual se aborda en la siguiente sección.

- **Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud (IPS):** Las Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud (IPS) son las entidades encargadas de brindar directamente los servicios de atención médica a la población afiliada al Sistema General de Seguridad Social en

Salud (SGSSS). Estas instituciones pueden ser públicas o privadas y ofrecen servicios en distintos niveles de complejidad, incluyendo atención médica, hospitalaria, diagnóstica y terapéutica (Congreso de la República de Colombia, 1993).

Dentro del sistema de salud, las IPS conforman la red de prestación de servicios contratada por las Entidades Promotoras de Salud (EPS), encargada de garantizar la atención a los usuarios del sistema. En el Área Metropolitana de Bucaramanga, esta red está compuesta por hospitales, clínicas, centros médicos, laboratorios y centros de diagnóstico, los cuales se distribuyen principalmente entre los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta.

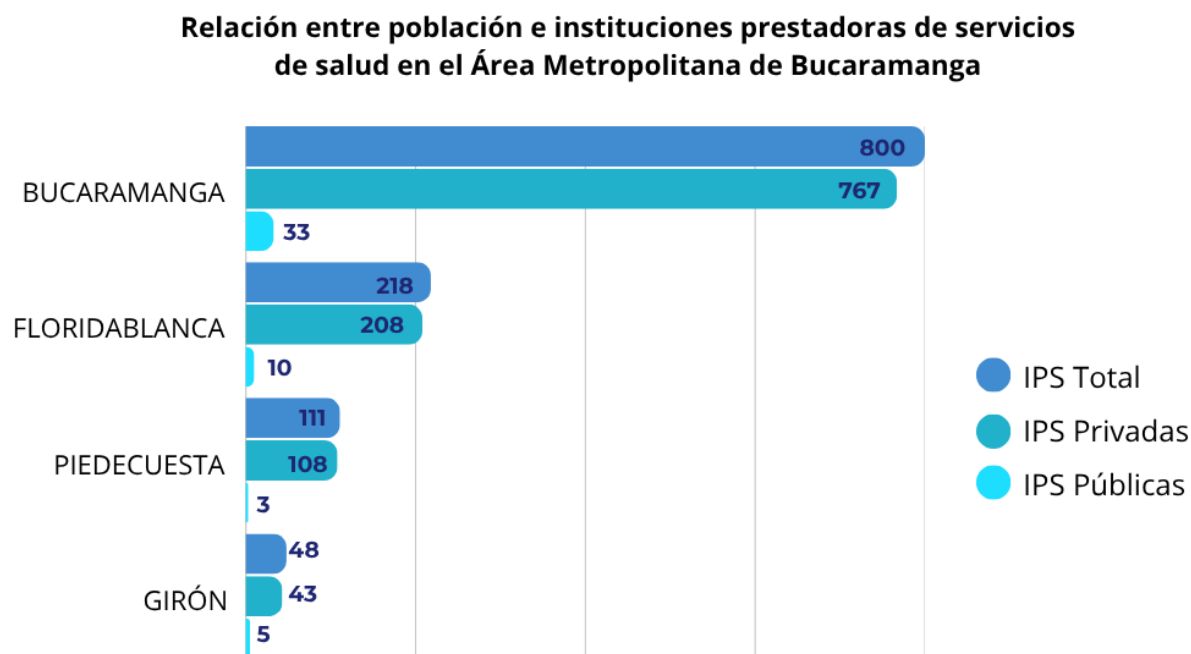
Según el Registro Especial de Prestadores de Servicios de Salud (REPS), administrado por el Ministerio de Salud y Protección Social, estos municipios concentran un número significativo de prestadores, lo que permite dimensionar la capacidad instalada del sistema de salud en el territorio (Ministerio de Salud y Protección Social, 2025).

Tabla 5
Instituciones prestadoras de servicios de salud en el AMB

Municipio	IPS públicas	IPS privadas	Total IPS
Bucaramanga	33	767	800
Floridablanca	10	208	218
Girón	5	43	48
Piedecuesta	3	108	111
Total AMB	51	1.126	1.177

A partir de la consulta del Registro Especial de Prestadores de Servicios de Salud (REPS), se identificaron un total de 1.177 instituciones prestadoras de servicios de salud registradas en los municipios que conforman el Área Metropolitana de Bucaramanga. Como se observa en la Tabla 5, la mayor concentración de prestadores se encuentra en el municipio de Bucaramanga, con 800 instituciones registradas, lo que representa la mayor parte de la capacidad instalada del sistema de salud en el territorio.

Figura 15.
Distribución de instituciones prestadoras de servicios de salud en el AMB



La *Figura 15.* muestra la relación entre la población y el número de instituciones prestadoras de servicios de salud registradas en los municipios del Área Metropolitana de Bucaramanga. A partir de la información presentada, se evidencia que, aunque existe un número importante de prestadores en el territorio, la gran mayoría corresponde a instituciones privadas. En

contraste, la participación de las instituciones públicas es significativamente menor en todos los municipios analizados.

Tabla 6

Distribución porcentual de prestadores por tipo de institución

Tipo de prestador	Número	Participación
IPS privadas	1.126	95,7 %
IPS públicas	51	4,3 %

Como se observa en la *Tabla 6*, la gran mayoría de las instituciones prestadoras de servicios de corresponden al sector privado. Del total de prestadores identificados, el 95,7 % son IPS privadas, mientras que solo el 4,3 % corresponde a instituciones públicas.

El listado completo de instituciones prestadoras de servicios de salud identificadas en los municipios que conforman el Área Metropolitana de Bucaramanga se presenta en el **Ápndice_A**, elaborado a partir del Registro Especial de Prestadores de Servicios de Salud (REPS).

Para la construcción de los mapas de calor, se realizó un proceso de muestreo a partir del total de instituciones prestadoras de servicios de salud identificadas en el Área Metropolitana de Bucaramanga. Dado que el número total de IPS (1.177) es elevado, se seleccionó una muestra representativa de 50 instituciones mediante un criterio de asignación proporcional por municipio, con base en la participación de cada territorio en el total de prestadores, como se ve en la *Tabla 7*.

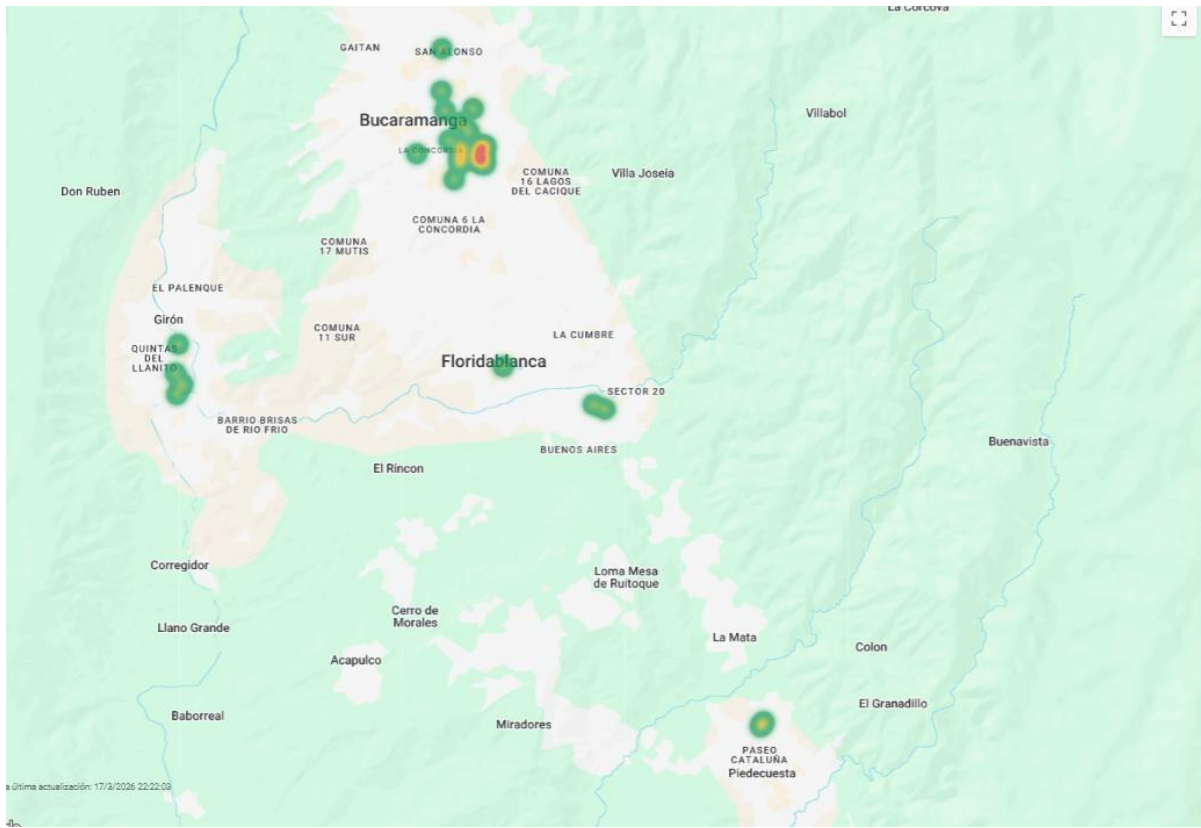
Tabla 7*Distribución proporcional de la muestra de IPS en el Área Metropolitana de Bucaramanga*

Municipio	%	IPS muestra
Bucaramanga	~68%	34
Floridablanca	~19%	10
Girón	~4%	2
Piedecuesta	~9%	4

Como se observa, la distribución de las IPS no es homogénea en el territorio. Se evidencia una alta concentración en el municipio de Bucaramanga, particularmente en zonas urbanas centrales, lo que coincide con su rol como principal nodo de prestación de servicios de salud. En contraste, en municipios como Floridablanca, Girón y Piedecuesta la presencia de IPS es menor y más dispersa, con algunos puntos específicos de concentración.

Figura 16

Mapa de calor de la localización de las IPS en el Área Metropolitana de Bucaramanga



- **Soporte logístico y otros actores del sistema de salud:** Además de los actores de regulación, aseguramiento y prestación de servicios de salud descritos anteriormente, el funcionamiento del sistema de salud en el Área Metropolitana de Bucaramanga también depende de otros actores que participan en el suministro de recursos médicos, medicamentos e insumos necesarios para la atención de los pacientes. Estos actores hacen parte de diferentes componentes de la cadena de suministro en salud, entre los cuales se destacan la cadena de suministro de sangre y la cadena farmacéutica (Marques, Martins & Araújo, 2020).

- **Cadena de suministro de sangre:** Dentro del sistema de salud, los bancos de sangre cumplen un papel fundamental en la disponibilidad de componentes sanguíneos utilizados en procedimientos médicos, cirugías y atención de urgencias. En el Área Metropolitana de Bucaramanga operan bancos de sangre asociados a instituciones hospitalarias de alta complejidad, como el Hospital Universitario de Santander (HUS) y la Fundación Cardiovascular de Colombia (FCV), los cuales participan en los procesos de recolección, procesamiento y distribución de sangre para la atención de pacientes en la región (Hospital Universitario de Santander, 2024)

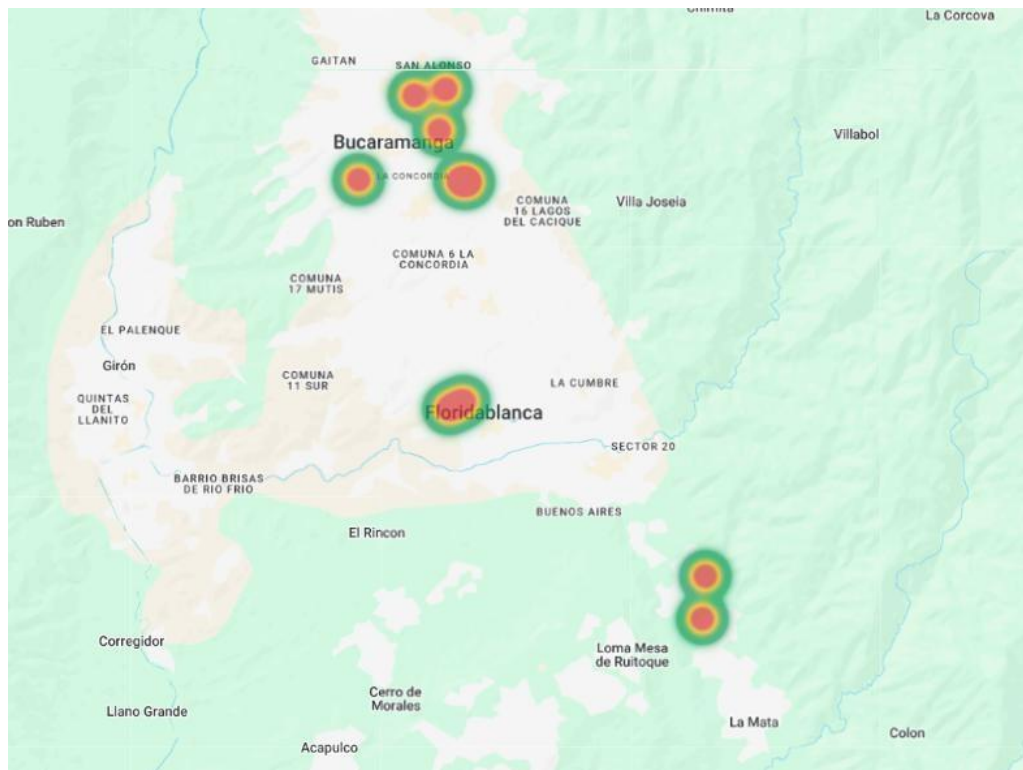
Estos bancos de sangre trabajan en coordinación con hospitales y clínicas del área metropolitana para garantizar la disponibilidad oportuna de hemocomponentes necesarios en diferentes procedimientos médicos.

Para el análisis espacial de la cadena de suministro de sangre en el Área Metropolitana de Bucaramanga, se identificaron los principales bancos de sangre y puntos de donación disponibles en el territorio. Sin embargo, es importante señalar que no existe una fuente oficial consolidada que permita consultar de manera unificada la totalidad de puntos de recolección de sangre en el área de estudio.

En este contexto, se realizó un proceso de identificación a partir de búsqueda secundaria, que incluyó la revisión de páginas web institucionales de clínicas y hospitales, consultas en plataformas de geolocalización como Google Maps, así como la identificación de campañas de donación reportadas por entidades como la Cruz Roja y otras instituciones prestadoras de servicios de salud.

Figura 17.

Mapa de calor de la localización de entidades de sangre en el Área Metropolitana de Bucaramanga



A partir de esta información, se construyó una base de datos de los principales actores físicos de la cadena (bancos de sangre y puntos de donación), los cuales fueron georreferenciados para la elaboración del mapa de calor presentado en la *Figura 17*. Como se observa, existe una mayor concentración de estos servicios en Bucaramanga, mientras que en municipios como Floridablanca y Piedecuesta su presencia es más limitada

- **Cadena farmacéutica y de medicamentos:** La cadena farmacéutica y de medicamentos representa uno de los componentes más críticos dentro del sistema de salud del Área Metropolitana de Bucaramanga, ya que de su adecuado funcionamiento depende que los pacientes puedan acceder oportunamente a los tratamientos prescritos. En el Sistema General de Seguridad Social en Salud, el suministro de medicamentos no se realiza directamente por las

instituciones prestadoras de servicios de salud, sino a través de un modelo en el que intervienen diferentes actores como las EPS, gestores farmacéuticos, distribuidores y entidades de control (Ministerio de Salud y Protección Social, 2023).

En este esquema, las Entidades Promotoras de Salud (EPS) son las responsables de garantizar el suministro de medicamentos a sus afiliados. Sin embargo, la operación logística de este proceso suele ser delegada a gestores farmacéuticos especializados que se encargan de administrar inventarios, distribuir medicamentos y operar los puntos de dispensación para los usuarios del sistema. En el Área Metropolitana de Bucaramanga operan diversos gestores farmacéuticos como Audifarma, Cruz Verde, CAFAM, Pharmasan, Disfarma, Ofimédicas, Colsubsidio, Neuromédicas y Mediser, los cuales cuentan con diferentes puntos de entrega de medicamentos distribuidos en la ciudad.

Dentro de la red pública de salud del municipio, la Empresa Social del Estado Instituto de Salud de Bucaramanga (ISABU) también desempeña un papel importante en la dispensación de medicamentos a través de sus servicios farmacéuticos en centros de salud y unidades hospitalarias. En estas instituciones se realizan actividades de control de inventarios, seguimiento a tratamientos y entrega de medicamentos a los usuarios afiliados principalmente a Nueva EPS y Coosalud (ISABU, 2025).

De acuerdo con los informes de la Secretaría de Salud, aproximadamente 68 dispensarios de medicamentos han sido objeto de procesos de verificación para evaluar el cumplimiento de las condiciones sanitarias y la correcta entrega de medicamentos a los usuarios del sistema (Secretaría de Salud y Ambiente de Bucaramanga, 2024).

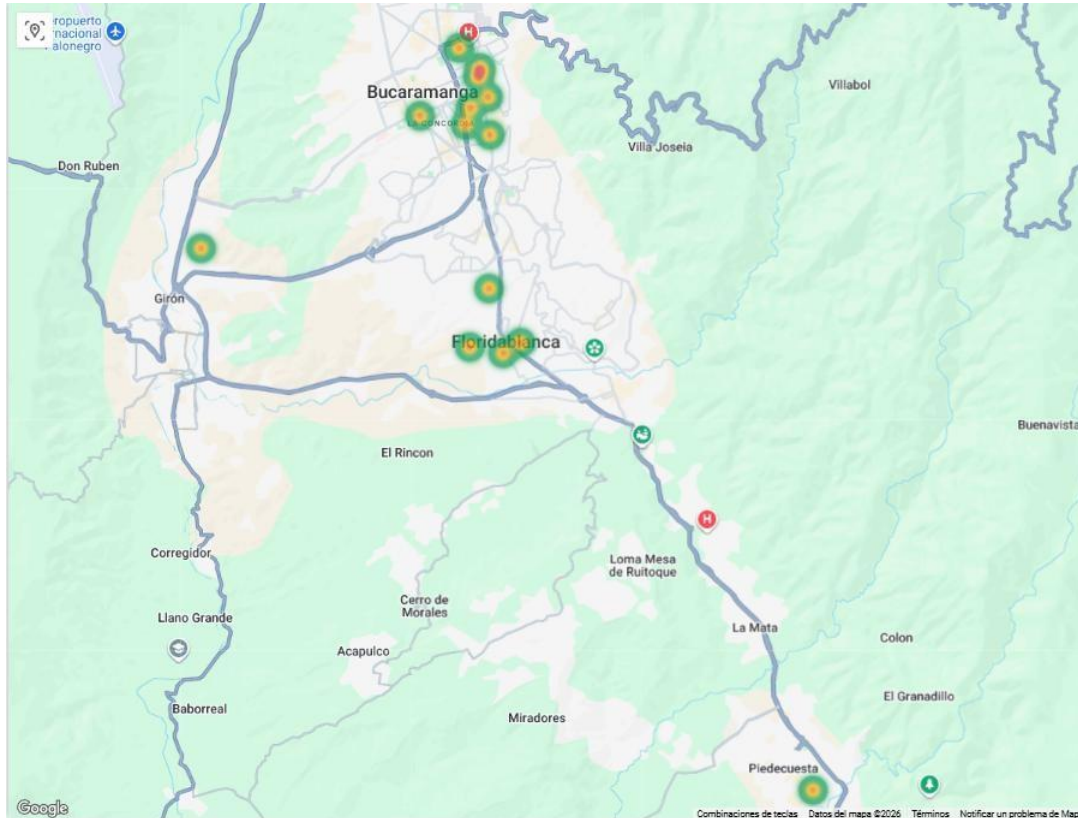
Adicionalmente, el sistema de salud del municipio ha implementado algunas estrategias para facilitar el acceso a los servicios de salud y a los medicamentos en poblaciones con mayores

dificultades de acceso. Entre estas estrategias se encuentra la implementación de unidades móviles de atención en salud, las cuales realizan actividades asistenciales en zonas rurales y sectores con dificultades de acceso a los servicios, incluyendo la entrega de medicamentos a los usuarios según las relaciones contractuales establecidas con las EPS (Alcaldía de Bucaramanga, 2024).

Para identificar la localización de los distribuidores de medicamento, se realizó una búsqueda de información secundaria, dado que no existe una fuente oficial que permita consultar este tipo de actores en el territorio, a partir de esta información, se seleccionaron los distribuidores más representativos según su presencia y relevancia en la cadena de suministro, especialmente aquellos vinculados a la distribución a gran escala hacia IPS y puntos de dispensación. Posteriormente, estos actores fueron georreferenciados para la elaboración del mapa de calor presentado en la Figura 18.

Figura 18.

Mapa de calor de la localización de distribuidores de medicamentos en el Área Metropolitana de Bucaramanga



Como se evidencia en la Figura 18, la distribución de los distribuidores de medicamentos responde a una lógica más operativa que territorial. Esto se debe a que estos actores priorizan la eficiencia en la distribución hacia las instituciones prestadoras de servicios de salud, más que la cercanía directa con el usuario final. En la literatura, se reconoce que las cadenas de suministro en salud, especialmente en el ámbito farmacéutico, están diseñadas para optimizar costos logísticos, tiempos de entrega y niveles de servicio, mediante la localización estratégica de centros de distribución (Shah, N., 2004). En este sentido, los distribuidores tienden a ubicarse en puntos que faciliten la conectividad vial y el acceso a múltiples instituciones, en lugar de responder a una distribución proporcional a la población (Management Sciences for Health., 2012)

Con el fin de contrastar lo planteado en la literatura con la realidad del Área Metropolitana de Bucaramanga, se realizó una comparación entre los actores identificados en el modelo teórico de la cadena de suministro en salud y aquellos presentes en el contexto local. Este ejercicio permite analizar el grado de correspondencia entre ambos enfoques, así como identificar diferencias en la estructura y funcionamiento del sistema.

Tabla 8
Comparación de actores teóricos con los actores del AMB

Actor en modelo teórico	Presencia en Bucaramanga	Observación
Hospitales y clínicas	Sí	Amplia presencia de IPS públicas y privadas
Farmacias y droguerías	Sí	Red amplia de dispensación farmacéutica
Distribuidores de medicamentos	Sí	Operan como intermediarios logísticos
Laboratorios farmacéuticos	Parcial	Principalmente fuera de la región
Bancos de sangre / laboratorios de sangre	Sí	Integrados a la red hospitalaria
Donantes de sangre	Sí	A través de campañas y bancos de sangre
Group Purchasing Organizations (GPO)	Limitado	Compras mayormente gestionadas por EPS o IPS
Proveedores de materias primas	No directo	Ubicados fuera de la red sanitaria local
Entes reguladores	Sí	Ministerio de Salud, Superintendencia, Secretaría de Salud
Pacientes	Sí	Nodo central del sistema

La Tabla 8 presenta una comparación entre los actores identificados en el modelo conceptual de la cadena de suministro en salud, basado en la literatura, y su presencia en el sistema

de salud del Área Metropolitana de Bucaramanga. Este análisis permite evidenciar el nivel de correspondencia entre la estructura teórica representada en la *Figura 10* y la realidad observada en el territorio.

Si bien se identifica la presencia de la mayoría de los actores planteados en la literatura, su participación no se da bajo el mismo nivel, ni con los roles definidos que se proponen en el modelo teórico. En particular, se observa que algunos actores, como los laboratorios farmacéuticos y los proveedores de materias primas, no hacen parte directa del contexto local, mientras que otros, como las Group Purchasing Organizations (GPO), no se encuentran implementados como mecanismos formales de coordinación.

En este sentido, aunque la estructura general de la cadena de suministro en el AMB guarda similitud con la planteada en la literatura, su funcionamiento presenta oportunidades de mejora en términos de integración, coordinación y optimización de los flujos logísticos. Esto sugiere que el sistema opera más como una red de actores con relaciones funcionales que como una cadena completamente organizada.

Adicionalmente, se evidencia que el principal diferencial no radica en la existencia de los actores dentro del sistema, sino en la forma en que estos operan e interactúan. En el contexto del Área Metropolitana de Bucaramanga, esta dinámica permite identificar tres problemáticas relevantes que coinciden con lo planteado en la literatura: dificultades en la coordinación y visibilidad entre actores, ineficiencias en la gestión de inventarios hospitalarios y limitaciones en los procesos de distribución.

En primer lugar, la interacción entre EPS, IPS y distribuidores de medicamentos refleja problemas de coordinación propios de redes multi-actor, donde no existe una integración efectiva

de la información ni de los procesos. Esto ha sido documentado a nivel local; por ejemplo, la Secretaría de Salud de Bucaramanga ha señalado que *“se presentan dificultades en la entrega oportuna de medicamentos y en la continuidad de la atención por parte de algunos aseguradores”* (Secretaría de Salud de Bucaramanga., 2023), lo cual evidencia limitaciones en la articulación entre los actores responsables de los flujos logísticos.

En segundo lugar, aunque este trabajo no profundiza en la gestión interna de inventarios, las dificultades en la disponibilidad de medicamentos reportadas tanto a nivel local como nacional permiten inferir la existencia de ineficiencias en la planificación, clasificación y reposición de inventarios dentro de las instituciones de salud. Estas situaciones han sido asociadas a problemas estructurales en la gestión de la cadena de suministro farmacéutica, donde la falta de visibilidad y sincronización impacta directamente la disponibilidad de insumos (Ministerio de Salud y Protección Social, 2022).

Finalmente, en relación con la distribución, se identifican condiciones que evidencian la presencia de problemas complejos de ruteo. Informes nacionales han señalado que las ineficiencias en la entrega de medicamentos están asociadas a fallas en la planificación de rutas, tiempos de entrega y articulación entre operadores logísticos y prestadores de servicios, lo cual es consistente con lo observado en el AMB (Ministerio de Salud y Protección Social, 2022). Este tipo de problemáticas se reflejan también en los resultados de los mapas de calor desarrollados en esta investigación, donde se identifican patrones de recorrido y dependencias entre nodos que sugieren la existencia de trayectorias no optimizadas dentro de la red.

Bajo esta perspectiva, si bien los tres problemas identificados son relevantes, el presente trabajo permite evidenciar que el punto focal de intervención más inmediato se encuentra en la distribución de medicamentos. A diferencia de los problemas de coordinación institucional o de

gestión de inventarios, que dependen en gran medida de factores regulatorios y financieros, las dinámicas de ruteo representan un componente operativo sobre el cual es posible intervenir de manera más directa.

En general, lo que se puede ver es que el sistema no funciona bajo una lógica fija o completamente organizada, sino que se va ajustando según cómo operan los actores en el día a día. Esto hace que, aunque en el papel la red esté completa, en la práctica su comportamiento dependa mucho de decisiones puntuales y de cómo cada actor responde a sus propias condiciones. Por eso, más que pensar en el sistema como algo estático, es importante entenderlo como una red que cambia constantemente, donde cualquier ajuste debe considerar esa dinámica para que realmente funcione.

7. Conclusiones y puntos clave

Los resultados obtenidos evidencian que la cadena de suministro del sistema de salud en el Área Metropolitana de Bucaramanga funciona con baja coordinación entre sus actores, donde predominan decisiones individuales más que una planeación conjunta. Esto se refleja en procesos como el abastecimiento, la distribución y la localización de servicios, los cuales no responden a una lógica integrada. Como resultado, se observa una alta dependencia de instituciones ubicadas en Bucaramanga, especialmente aquellas de mayor complejidad, lo que concentra gran parte de los flujos del sistema en este municipio y puede generar sobrecarga y un uso poco equilibrado de los recursos. En general, la distribución de servicios y actores no sigue criterios de optimización como la reducción de tiempos o distancias, sino que ha sido resultado de condiciones operativas e históricas. Desde la perspectiva de la Investigación de Operaciones, esto sugiere que el sistema opera sin una coordinación integral, lo que limita su eficiencia y dificulta una mejor articulación entre los actores.

En conjunto, el análisis muestra que cada subcadena funciona de manera diferente y que, en general, no hay una articulación clara entre los actores. Por ejemplo, en la subcadena hospitalaria se evidencia una fuerte concentración de servicios en Bucaramanga, lo que hace que los demás municipios dependan de este nodo principal. En la subcadena de medicamentos, la lógica es más logística que territorial, ya que los distribuidores se ubican pensando en la eficiencia de entrega hacia las instituciones y no necesariamente en la cercanía al usuario final. En el caso de la subcadena de sangre, se identifican condiciones particulares como la necesidad de tiempos de respuesta rápidos, el manejo de productos perecederos y una alta criticidad en la demanda, lo que implica restricciones adicionales frente a otras subcadenas.

Teniendo en cuenta estos resultados y los anexos de esta investigación, donde se identifican la ubicación de los actores, las distancias y la distribución de la demanda, se evidencia una oportunidad clara de proponer soluciones desde la Investigación de Operaciones. Para la subcadena de medicamentos, se propone el uso de un modelo de ruteo de vehículos con capacidad y ventanas de tiempo, ya que este tipo de modelo se ajusta a la operación real del sistema: múltiples instituciones a atender, recursos limitados y horarios específicos de recepción. Este modelo permite no solo optimizar distancias, sino también garantizar el cumplimiento de horarios y restricciones operativas. Se elige este enfoque frente a otros modelos de ruteo más simples, ya que estos no consideran simultáneamente la capacidad de los vehículos ni los horarios de atención, elementos clave en el contexto del sector salud.

Por otra parte, para la subcadena de sangre se propone un enfoque basado en modelos de ruteo con prioridad o combinados con decisiones de localización, ya que en este caso no solo importa la eficiencia en la distribución, sino también la rapidez en la respuesta y la criticidad de la demanda. Esto se debe a que los productos sanguíneos tienen tiempos de vida limitados y su disponibilidad impacta directamente la atención de urgencias, por lo que modelos más básicos no logran capturar estas condiciones.

La aplicación de estos modelos podría darse en actores como distribuidores de medicamentos, bancos de sangre, operadores logísticos e incluso instituciones de salud con capacidad de gestión interna. Con esto se lograría mejorar la planificación de rutas, reducir tiempos de entrega, optimizar el uso de vehículos y, en general, mejorar la disponibilidad oportuna de insumos en las instituciones. Además, permitiría disminuir la presión sobre Bucaramanga como nodo principal, favoreciendo una distribución más equilibrada en el área metropolitana.

A partir de la información recopilada en esta investigación, especialmente la relacionada con la ubicación de los actores, la distribución de la demanda y las dinámicas observadas en el territorio, es posible establecer una base inicial que permita identificar actores estratégicos dentro del sistema. Esta información no solo facilita una comprensión general del funcionamiento actual, sino que también sirve como punto de partida para seleccionar de manera más precisa el actor con el cual se podría trabajar en una siguiente fase. Con esto, se podría avanzar hacia la estructuración de un modelo que represente de mejor forma la operación real y que permita comparar escenarios actuales frente a alternativas optimizadas.

En este sentido, como fase siguiente de esta investigación, se propone enfocar el análisis en un actor específico (por ejemplo, un distribuidor, una IPS o un banco de sangre), con el fin de realizar un levantamiento más detallado de información operativa. Esto permitiría complementar los datos ya obtenidos y ajustar el modelo a condiciones reales del sistema, logrando así una mayor precisión en los resultados.

8. Recomendaciones

En cuanto a las recomendaciones, se sugiere que futuros estudios profundicen en aspectos que no fueron abordados en esta investigación. En particular, no se incluyeron de manera detallada variables relacionadas con la financiación del sistema de salud, como los flujos de recursos entre EPS, IPS y proveedores, ni los factores políticos y regulatorios, los cuales influyen directamente en la toma de decisiones, la organización del sistema y la asignación de recursos. Incluir estos elementos permitiría tener una visión más completa del funcionamiento del sistema y de las restricciones reales bajo las cuales operan los actores.

Asimismo, se recomienda incorporar análisis más detallados sobre la cobertura del sistema de salud, especialmente en términos de acceso efectivo a los servicios, ya que la afiliación no necesariamente refleja la disponibilidad real ni la oportunidad en la atención. Esto permitiría identificar brechas territoriales más precisas y complementar los análisis realizados en esta investigación.

Por otra parte, y en línea con los resultados obtenidos, se recomienda avanzar hacia el desarrollo de modelos de optimización aplicados al contexto del Área Metropolitana de Bucaramanga, utilizando la información levantada en los anexos de este trabajo. En particular, se sugiere explorar modelos de ruteo de vehículos con capacidad y ventanas de tiempo, así como modelos de localización–asignación, que permitan mejorar la distribución de medicamentos, la asignación de servicios y la coordinación entre actores. Este tipo de enfoques facilitaría pasar de un análisis descriptivo a una intervención más aplicada, orientada a optimizar tiempos, reducir costos logísticos y mejorar el acceso a los servicios de salud en el territorio.

Finalmente, se recomienda que estas propuestas sean desarrolladas en conjunto con actores del sistema, como distribuidores, IPS o entidades territoriales, con el fin de validar su aplicabilidad y avanzar hacia pilotos que permitan evaluar su impacto en escenarios reales. De

esta manera, se abre una oportunidad para que el grupo de investigación no solo continúe profundizando en el análisis del sector, sino también genere soluciones concretas que aporten a la mejora del sistema de salud en el contexto local.

Referencias Bibliográficas

- Aguirre Araque, S., & Burbano Muñoz, R. (2021). Propuesta de diagnóstico del estado actual de la cadena de abastecimiento en el sistema de salud en Colombia. *Universidad Icesi*.
- Alcaldía de Bucaramanga. (2022). *Análisis de situación de salud participativo de Bucaramanga*. Bucaramanga.
- Alcaldía de Bucaramanga. (2024). *Proyecto de Plan de Desarrollo 2024–2027 radicado ante el Concejo Municipal*. Alcaldía de Bucaramanga.
- Alfonso, J., Pérez, R., & Gómez, L. (2013). *Gestión logística en la cadena de suministro hospitalaria*. En Pirabán, J., Guerrero, W., & Labadie, N. (2019). *Optimizing blood supply chain logistics: A case study in Latin America*. *Health Care Management Science*, 22(1), 45-60.
- Ali, I., & Kannan, D. (2022). Mapping research on healthcare operations and supply chain management: a topic modelling-based literature review. *Annals of Operations Research*, 315(1), 29-55.
- AlZaidan, M. H. (2024). Optimizing pharmaceutical supply chain configuration in primary healthcare: A mathematical modeling and decision support approach. *Proceedings of the International Workshop on Innovative Simulation for Healthcare*.
- Ariningsih, P. K., Irawan, C. A., Paulraj, A., & Dai, J. (2024). A multi-period vaccines supply chain network design with capacity expansion and different replenishment cycles under uncertain demand. *Computers & Operations Research*, 167, 106660.
- Best, S., & Williams, S. J. (2021). What have we learnt about the sourcing of personal protective equipment during pandemics? Leadership and management in healthcare supply chain management: a scoping review. *Frontiers in Public Health*, 9, 765501.
- Bichescu, B. B. (2025). Examining the use of analytics in healthcare operations management: A systematic and narrative literature review. *Decision Sciences*, 56, 449–470.
- Callender, C., & Grasman, S. (2010). Enhancing hospital supply chain performance: A review of group purchasing organizations. *Journal of Business Logistics*, 31(2), 152-168.
- Chan, T., & Green, J. (2023). Sustainable supply chain management in healthcare: Strategies and innovations. *Journal of Supply Chain Management*, 12(3), 45-60.
- Congreso de la República. (1993). Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1777>
- Congreso de la República de Colombia. (1993). *Ley 100 de 1993: Por la cual se crea el Sistema de Seguridad Social Integral y se dictan otras disposiciones*. Diario Oficial No. 41.148.
- Congreso de la República de Colombia. (1993, Ley 100). Obtenido de Recuperado de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=356>

- Congreso de la República de Colombia. (2011). *Ley 1438 de 2011*. Por medio de la cual se reforma el Sistema General de Seguridad Social en Salud y se dictan otras disposiciones.
- Constitución Política de Colombia. (1991, Art. 49). Obtenido de Recuperado de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=4125>
- Council of Supply Chain Management Professionals CSCMP. (2013). Supply chain management: Processes, partnerships, performance. CSCMP.
- Cruz, M. (2022). Gestión de la cadena de suministro en el sector salud: Un enfoque estratégico. *Editorial Universitaria*.
- DANE. (2020). *Censo nacional de población y vivienda 2020*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2025). *Certificación de población proyectada a junio 30 de 2024 y tasa de mortalidad infantil*. Municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta. DANE.
- Dias, B. L. (2025). Healthcare supply chain analytics: Smart supply chain AI powered inventory optimization in healthcare. *Journal of Data Analysis and Critical Management*, 1(1), 81–88.
- Durmuş, A. A. (2025). Optimizing healthcare inventory management using machine learning for efficient classification of medical supplies. *OPSEARCH*.
- E.S.E. Instituto de Salud de Bucaramanga. (2025). *Plan de desarrollo institucional 2024–2027: Con salud segura, Bucaramanga avanza*.
- Gammon, R. R. (2023). Patient blood management and its role in supporting blood supply. *Journal of blood medicine*, 595-611.
- Gatica-González, G., & Adarme-Jaimes, W. (2022). Estrategias de optimización en la gestión de la cadena de suministro hospitalaria: Un enfoque logístico y operacional. *Revista de Logística y Gestión en Salud*, 8(1), 23-40.
- Grant, M. J. (2009). A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health information & libraries journal*, 26(2), 91-108.
- Gunpinar, S., & Centeno, G. (2015). Stochastic integer programming models for reducing wastage and shortage of blood products at hospitals. *Computers & Operations Research*, 54, 129-141.
- Gutiérrez, H., & Vidal, C. (2013). Gestión eficiente de inventarios en hospitales: Un enfoque basado en modelos de optimización. *Revista de Ingeniería Hospitalaria*, 5(2), 45-58.
- Hospital Universitario de Santander. (2024). *Fundación Cardiovascular de Colombia*.
- Hossain, M. I., & Parvez, M. S. (2020). Investigating the effect of extended vendor managed inventory in the supply chain of health care sector to enhance information exchange. *International Journal of Information Management Science*, 31(2), 171-189.

- Informe de calidad de vida. (2024). *Bucaramanga Metropolitana Cómo Vamos*. Área Metropolitana de Bucaramanga.
- Juhara, S. (2024). Optimizing Supply Chain Management: Strategies for Enhancing Efficiency and Reducing Costs in Manufacturing Industries. *The Journal of Academic Science*.
- Khodaei, V. K. (2022). A humanitarian cold supply chain distribution model with equity consideration: The case of COVID-19 vaccine distribution in the European Union. *Decision Analytics Journal*, 4, 100126.
- Lakerbache, M. e. (2024). Optimizing pharmaceutical supply chain configuration using a mixed-integer linear programming model. *Proceedings of the 13th International Conference on Integrated Modeling and Analysis in Applied Control and Automation (IWISH 2024)*.
- Lapierre, S. D., & Ruiz, A. B. (2007). Optimización de la asignación de ambulancias y ruteo de emergencia. *Annals of Operations Research*, 157(1), 129-145.
- Latif, S. (2023). A systematic literature review exploring healthcare supply chain risk management, resiliency and future research directions. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM)*.
- Leahy, K. M. (2017). Healthcare supply chain optimization: Strategies for cost reduction and efficiency improvement. *Journal of Healthcare Management*, 62(4), 223-239.
- Levner & Herbon. (2023). An optimization model for distribution of influenza vaccines through a green healthcare supply chain. *Operations Research for Health Care*, 37, 100387.
- Lowalekar, H., & Ravichandran, N. (2010). Analysis of inventory policies for perishable items in a supply chain. En Pirabán, J., Guerrero, W., & Labadie, N. (2019). Optimizing blood supply chain logistics: A case study in Latin America. *Health Care Management Science*, 22(1), 45-60.
- Maheshwari, P. K. (2023). Resilient healthcare network for simultaneous product allocations during supply chain disruptions. *Annals of Operations Research*.
- Management Sciences for Health. (2012). *MDS-3: Managing access to medicines and health technologies*. Arlington, VA.
- Marques, J., Martins, A., & Araújo, M. (2020). Segmentación de la red de suministro en el sector salud y su impacto en la eficiencia operativa. *Health Supply Chain Management Journal*, 8(2), 112-130.
- Meindl, P. (2021). En P. Meindl, *Supply chain management: Strategy, planning, and operation* (pág. 305).
- Ministerio de Salud. (1994). Obtenido de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-5261-de-1994.pdf>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2007, Resolución 4002). Obtenido de <https://www.minsalud.gov.co/>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2008, Resolución 1915). Obtenido de <https://www.minsalud.gov.co/>

- Ministerio de Salud y Protección Social. (2012, Decreto 2078). Obtenido de <https://www.minsalud.gov.co/>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2013, Resolución 1441). Obtenido de <https://www.minsalud.gov.co/>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2016).
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2016, Decreto 780). Obtenido de <https://www.minsalud.gov.co/>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2022). *Análisis de la cadena de suministro de medicamentos en Colombia. Bogotá, Colombia.*
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2025). *Cifras de aseguramiento del Sistema General de Seguridad Social en Salud (SGSSS). MINSALUD.*
- Montilla, L. I. (2019). Logística colaborativa en el sector salud: Caso logística de medicamentos y dispositivos médicos en la línea hospitalaria. . *Universidad Icesi.*
- Muñoz, C. (2018). Diagnóstico logístico de distribución de dispositivos médicos en Colombia. *Universidad Nacional de Colombia.*
- Narayana, S. A. (2014). Managerial research on the pharmaceutical supply chain—A critical review and some insights for future directions. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 20(1), 18-40.
- Núñez Florian, L. &. (2014). Gestión eficiente de la cadena de suministro en el sector hospitalario. *Revista de Logística y Operaciones*, 6(2), 89-105.
- Omar, I. A. (2023). Blockchain technology for improving information visibility in healthcare PPE supply chains.
- Ordoñez Montilla, L. I. (2021). Collaborative logistics in healthcare: A case study of the supply chain of medicines and medical devices for hospitals in Colombia. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. IEOM Society International.*
- Ordoñez, M. (2019). LI LOGÍSTICA COLABORATIVA EN EL SECTOR SALUD, Caso logística de medicamentos y dispositivos médicos en la línea hospitalaria. *Universidad Icesi. Cali.*
- Ordoñez. M. (2024). Importance of Logistics and Supply Chain in Health Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud. *FUCS, Colombia.*
- Padma, A. &. (2024). Blockchain based solution for secure information sharing in pharma supply chain management. *Heliyon*, 10(22).
- Pirabán, J., Guerrero, W., & Labadie, N. (2019). Optimizing blood supply chain logistics: A case study in Latin America. *Health Care Management Science*, 22(1), 45-60.
- Pirabán-Ramírez, A. G.-R. (2022). The multi-trip vehicle routing problem with increasing profits for the blood supply chain. *Computers & Industrial Engineering*, 170, 108294.
- Plan Obligatorio de Salud, 2011. (s.f.). Obtenido de <https://www.minsalud.gov.co/proteccionsocial/Paginas/pos.aspx>

- Ramírez, J. T. (2019). Desafíos logísticos en la cadena de suministro del sector salud en Bucaramanga y su área metropolitana. *Revista de Ingeniería y Gestión*, 35(2), 45-67.
- Ruíz-Orjuela et al. (2022).
- Ruíz-Orjuela, E. T.-G.-J. (2023). Literature review with bibliometric analysis of the hospital supply chain. *Ingeniería*, 28(Suppl 1), 1-22.
- Santa, R. T. (2025). Leveraging industry 4.0 technologies for healthcare innovation and efficiency. *PLOS ONE*, 20(11), e0336222.
- Secretaría de Salud de Bucaramanga. (2023). *Informe de seguimiento a la prestación de servicios de salud y entrega de medicamentos*. Alcaldía de Bucaramanga.
- Shah, N. (2004). *Pharmaceutical supply chains: key issues and strategies for optimisation*. 28(6–7), 929–941.: Computers & Chemical Engineering.
- Shokouhifar, M., Sabbaghi, A., & Pilevari, N. (2021). Modeling and optimization of perishable inventory in blood supply chains. *International Journal of Production Research*, 59(12), 3785-3803.
- Sierra Espinel, A. I. (2024). Applying deep learning and forecasting techniques to the pharmaceutical supply chain. . *Procedia Computer Science*.
- Superintendencia Nacional de Salud. (2023). *Diálogo con la Supersalud – Bucaramanga (Santander)*. Superintendencia Nacional de Salud.
- Universidad Industrial de Santander. (2022). *Revisión de procesos en la cadena de suministro hospitalaria*, Editorial UIS. p. 99.
- Volland, J. F. (2016). Improving hospital supply chain integration by demand forecasting: The role of patient variability. *Journal of Operations Management*, 45(1), 67-79.
- Zahiri, B., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Mohammadi, M. (2018). Developing a robust blood supply chain network design model under demand uncertainty. *International Journal of Production Economics*, 205, 86-106.

