



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE TRANSPORTE
PARA LA OPTIMIZACIÓN DE UNA RED LOGÍSTICA DE DISTRIBUCIÓN
EN UNA EMPRESA DEL SECTOR SALUD EN LA CIUDAD GUAYAQUIL.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero(a) Industrial

AUTORES:

RICHARD ANDRÉS HURTADO MERCHÁN

JEREMY JOEL BURGOS DE LA CRUZ

TUTOR:

MARJORIE VERÓNICA TINGO SOLEDISPA, Mgtr.

Guayaquil- Ecuador

2026

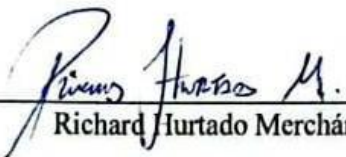
Declaración de responsabilidad y autoría.

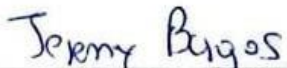
Nosotros, Richard Andrés Hurtado Merchán con documento de identificación N° 0921973764 y Jeremy Joel Burgos De la Cruz con documento de identificación N° 0931061394; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 19 de enero del año 2026

Atentamente,


Richard Hurtado Merchán
0921973764


Jeremy Burgos De la Cruz
0931061394

Declaración de cesión de derechos de autor.

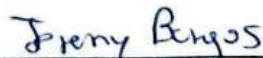
Nosotros, Richard Andrés Hurtado Merchán con documento de identificación No. 0921973764 y Jeremy Joel Burgos De la Cruz con documento de identificación No. 0931061394, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE TRANSPORTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DE UNA RED LOGÍSTICA DE DISTRIBUCIÓN EN UNA EMPRESA DEL SECTOR SALUD EN LA CIUDAD GUAYAQUIL”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniería Industrial, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 19 de enero del año 2026

Atentamente,


Richard Hurtado Merchán
0921973764


Jeremy Burgos De la Cruz
0931061394

Declaración de dirección del trabajo de titulación.

Yo, Marjorie Verónica Tingo Soledispa con documento de identificación N° 0917456998, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “PROPUESTA DE IMPLEMENTACION DEL MODELO DE TRANSPORTE PARA LA OPTIMIZACION DE UNA RED LOGISTICA DE DISTRIBUCION EN UNA EMPRESA DEL SECTOR SALUD EN LA CIUDAD GUAYAQUIL”, realizado por Richard Andrés Hurtado Merchán con documento de identificación N° 0921973764 y por Jeremy Joel Burgos De la Cruz con documento de identificación N° 0931061394, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 19 de enero del año 2026

Atentamente,



Ing. Marjorie Verónica Tingo Soledispa, Mgtr
0917456998

Dedicatoria y Agradecimientos.

A mi esposa Yeromy Piza, a quien debo gran parte de este logro, le dedico con profundo agradecimiento este trabajo de titulación. Su apoyo constante ha sido determinante en cada etapa de este proceso; en los momentos de mayor cansancio y dificultad, siempre tuvo una palabra oportuna de ánimo, un gesto de comprensión y la paciencia necesaria para que yo pudiera continuar. Su fe en mis capacidades, incluso cuando yo mismo flaqueaba, se convirtió en la fuerza que me impulsó a no abandonar este objetivo.

Agradezco profundamente su comprensión frente a mis ausencias, a las horas de estudio y a las noches de desvelo, así como su compañía silenciosa cuando solo necesitaba su presencia. Por ser mi compañera de vida, mi sostén emocional y una de las razones más importantes para esforzarme y superarme, este trabajo no solo refleja un logro académico, sino también el resultado de un esfuerzo compartido y del camino que hemos construido juntos

-Richard Hurtado-

A mis padres, por ser el apoyo más importante en mi vida y por acompañarme en cada etapa de este camino con amor, paciencia y sacrificio. Gracias por creer en mí incluso en los momentos más difíciles, por no dejarme rendir cuando las cosas se complicaban y por enseñarme, con su ejemplo, el valor del esfuerzo, la constancia y la humildad. Todo lo que soy y todo lo que he logrado hasta hoy es gracias a ustedes, a su dedicación diaria y a su confianza incondicional. Esta tesis representa no solo un logro personal, sino también el reflejo de todo lo que me han brindado a lo largo de mi vida. Este trabajo está dedicado a ustedes, con profundo amor y gratitud.

-Jeremy Burgos-

RESUMEN

Este trabajo se realizó con el propósito de mejorar la distribución de insumos médicos en una empresa que opera en Guayaquil. En la situación inicial, las entregas se planifican principalmente con base en la experiencia del personal, lo que ocasiona recorridos poco eficientes, variaciones en los tiempos de atención y un uso irregular de los recursos disponibles. Ante este escenario, se planteó como objetivo reducir el costo de transporte y organizar de mejor manera la asignación de envíos hacia los distintos puntos de entrega, utilizando el Modelo de Transporte como herramienta de apoyo.

Para el análisis se levantó información de demanda por destino, capacidades de atención por centro de distribución y costos unitarios de traslado calculados a partir de distancias. Con estos datos se formuló un modelo lineal tipo transporte y se resolvió con Solver de Excel, comparando dos alternativas: una operación centralizada con un solo centro y una operación con tres centros. El problema se trabajó con oferta y demanda balanceadas en 60 unidades.

Los resultados evidenciaron que el esquema con tres centros redujo el costo total frente al escenario centralizado, manteniendo la misma demanda, con una disminución proporcional cercana al 62.83%. Además, la solución optimizada asignó los destinos a los centros que ofrecían mejores costos, lo que permitió una distribución más ordenada de los volúmenes. En conclusión, el uso del Modelo de Transporte y Solver facilitó una planificación más eficiente y con mejores condiciones para sostener el nivel de servicio.

Palabras clave: modelo de transporte; distribución de insumos médicos; optimización de costos; logística hospitalaria; Solver de Excel; centros de distribución.

ABSTRACT

This work was conducted to improve the distribution of medical supplies in a company operating in Guayaquil. In the initial situation, deliveries were planned mostly based on staff experience, which resulted in inefficient routes, variability in service times, and uneven use of the available resources. To address this issue, the study aimed to reduce transportation costs and improve shipment allocation to the delivery points by using the Transportation Model as a decision-support tool.

Data on demand per destination, distribution-center capacities, and unit transportation costs derived from distances were collected. A linear transportation model was then formulated and solved using Excel Solver, comparing two alternatives: a centralized operation with a single distribution center and a decentralized operation with three centers. The problem was handled with balanced supply and demand totaling 60 units.

The results showed that the three-center structure reduced total transportation costs compared to the centralized scenario while keeping the same demand level, with an estimated proportional decrease of about 62.83%. In addition, the optimized solution assigned each destination to the center with the most favorable cost, leading to a more organized distribution of volumes. Overall, the Transportation Model and Excel Solver helped produce a clearer and more efficient planning approach, supporting better service-level performance.

Keywords: transportation model; medical supply distribution; cost optimization; healthcare logistics; Excel Solver; distribution centers.

ÍNDICE

Declaración de responsabilidad y autoría.	I
Declaración de cesión de derechos de autor.	II
Declaración de dirección del trabajo de titulación.....	III
Dedicatoria y Agradecimientos.	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
GLOSARIO DE TÉRMINOS	IX
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PROBLEMA	5
ANTECEDENTES	5
IMPORTANCIA Y ALCANCES.....	7
OBJETIVOS	12
Objetivo General	12
Objetivos específicos	12
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LA LITERATURA	13
EL SECTOR SALUD	13
ASPECTOS CLAVE DEL SECTOR SALUD.....	13
CADENAS DE SUMINISTRO EN SALUD	18
MODELOS DE DISTRIBUCIÓN EN LA CADENA DE SUMINISTROS	19
MODELOS DE RED Y FLUJO	20
MODELOS DE PLANEACIÓN Y REPOSICIÓN	22
MODELOS ANALÍTICOS DE DISEÑO DE RED Y ASIGNACIÓN	23
MODELOS DE TRANSPORTE.....	24
MÉTODOS PARA SOLUCIONES INICIALES FACTIBLES.....	25
PRUEBAS DE OPTIMALIDAD Y MEJORA.....	26
VARIANTES Y EXTENSIONES DEL MODELO DE TRANSPORTE.....	27

	VIII
RELACIÓN CON PROBLEMAS AFINES.....	29
USO PRÁCTICO Y LINEAMIENTOS	30
OPTIMIZACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN, MODELO DE TRANSPORTE Y RUTEO DE VEHÍCULOS	31
ESTUDIOS APLICADOS EN LOGÍSTICA DE SALUD Y ABASTECIMIENTO HOSPITALARIO	32
SÍNTESIS DE APORTES Y RELACIÓN CON EL PROBLEMA DE ESTUDIO	34
SOLVER DE EXCEL: DESCRIPCIÓN Y USO EN OPTIMIZACIÓN	34
¿PARA QUÉ SIRVE SOLVER?.....	35
ELEMENTOS PRINCIPALES DE SOLVER.....	35
TIPOS DE MODELOS QUE PUEDE RESOLVER SOLVER	36
PASOS BÁSICOS PARA UTILIZAR SOLVER EN UN MODELO DE TRANSPORTE	37
IMPORTANCIA DE SOLVER PARA LA INGENIERÍA INDUSTRIAL	38
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	39
INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA	39
CAPACIDAD DE CARGA DE LA FLOTA.....	41
ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO A TRATAR	41
CONDICIONES INICIALES DE LA EMPRESA.....	43
DEFINICIÓN DE LA POBLACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LA MUESTRA.....	46
CONDICIONES ACTUALES DE LA EMPRESA.....	51
RESULTADOS OBTENIDOS PARA UN CD	52
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	54
PROPUESTA DE MEJORA PARA LA EMPRESA	54
EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	57
CONCLUSIÓN	61
RECOMENDACIÓN	63
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
ANEXOS	71

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Este glosario reúne definiciones precisas de términos logísticos en español e inglés. Cada entrada incluye una referencia confiable para consulta.

Término (ES)	Término (EN)	Definición	Fuente (abreviada)
Logística	Logistics	Planificar, implementar y controlar el flujo y almacenamiento de bienes/servicios e información desde el punto de origen al de consumo para satisfacer requisitos del cliente.	CSCMP, Glossary
Gestión de la cadena de suministro	Supply Chain Management (SCM)	Integración y coordinación de abastecimiento, producción y logística con socios para balancear oferta y demanda dentro y entre empresas.	CSCMP, Glossary
Distribución	Distribution	Movimiento de productos terminados desde origen a puntos de	CSCMP, Glossary

		consumo dentro de la logística de salida (outbound).	
Proceso (ISO 9000)	Process (ISO 9000)	Conjunto de actividades interrelacionadas o que interactúan que transforman entradas en resultados.	ISO 9000
Problema/Método de transporte	Transportation Problem	Modelo de programación lineal que asigna cantidades desde múltiples orígenes a múltiples destinos minimizando el costo total, cumpliendo oferta y demanda.	Texto clásico de Investigación de Operaciones
Programación lineal	Linear Programming	Técnica matemática para optimizar (max/min) una función lineal con restricciones lineales; base de modelos como transporte y asignación.	Enciclopedia Británica

Última milla	Last Mile	Tramo final de la distribución hasta el destino; requiere alta densidad de paradas, cumplimiento de ventanas y control de costos.	CSCMP, Glossary
OTIF (Entrega a tiempo y completa)	OTIF (On-Time In-Full)	Indicador de entregas realizadas a tiempo y completas respecto a lo pedido (fecha y cantidad).	McKinsey (definición sectorial)
Prueba de entrega	Proof of Delivery (PoD)	Registro firmado (físico o digital) que confirma la entrega al destinatario y sirve como evidencia contractual y operativa.	GS1 / DLA (U.S.)
Cadena de frío	Cold Chain	Sistema de almacenamiento y transporte con temperatura controlada para productos sensibles (p. ej., fármacos y vacunas).	WHO (TTSP Guidance)

Buenas Prácticas de Distribución (medicamentos)	Good Distribution Practice (GDP)	Requisitos para almacenamiento y distribución de medicamentos que aseguren calidad e integridad a lo largo de la cadena.	UE, 2013/C 343/01
WMS (Sistema de Gestión de Almacén)	Warehouse Management System (WMS)	Software que gestiona operaciones del almacén: recepción, ubicaciones, picking, packing, expedición y visibilidad de inventario.	SAP/Oracle (documentación de producto)
TMS (Sistema de Gestión de Transporte)	Transportation Management System (TMS)	Sistema para planificar, optimizar y ejecutar transporte (tarifas, ruteo, tracking, documentación y liquidación de fletes).	CSCMP, Glossary
3PL (Logística tercerizada)	Third-Party Logistics (3PL)	Proveedor que ofrece servicios logísticos subcontratados (transporte,	CSCMP, Glossary

		almacén, fulfilment, etc.).	
SLA (Acuerdo de nivel de servicio)	Service Level Agreement (SLA)	Acuerdo con niveles de servicio medibles (p. ej., OTIF, tiempos, respuesta), con bonificaciones y/o penalizaciones.	Buenas prácticas sector / CSCMP
DRP (Planificación de Requerimientos de Distribución)	Distribution Requirements Planning (DRP)	Metodología basada en tiempo para planificar reposiciones en una red jerárquica, evitando faltantes y sobrestocks.	TechTarget (definición técnica)
VMI / SMI (Inventario gestionado por proveedor)	Vendor-Managed Inventory (VMI) / Supplier-Managed Inventory (SMI)	Modelo en el que el proveedor gestiona y repone inventario en el cliente con reglas acordadas y visibilidad de consumo.	SAP Help / TechTarget
CPFR (Planeación, Pronóstico y Reposición Colaborativa)	Collaborative Planning, Forecasting & Replenishment (CPFR)	Marco estandarizado para planificar, pronosticar y reponer de forma colaborativa entre	VICS/GS1 CPFR Guide

		socios comerciales.	
VRP (Problema de Ruteo de Vehículos)	Vehicle Routing Problem (VRP/VRPTW)	Familia de modelos para diseñar rutas con capacidad y/o ventanas de tiempo; complementa al modelo de transporte.	Toth & Vigo (SIAM)
Transbordo	Transshipment	Extensión del problema de transporte que permite transferencias vía nodos intermedios dentro de una red de flujos.	Ahuja, Magnanti & Orlin (Network Flows)
Ubicación de instalaciones	Facility Location	Modelos para decidir dónde ubicar centros y asignar clientes minimizando costo/distancia o maximizando cobertura.	Literatura clásica de diseño de redes
KPI (Indicador Clave de Desempeño)	Key Performance Indicator (KPI)	Medida cuantitativa del desempeño frente a objetivos, con	Buenas prácticas de gestión

		seguimiento periódico y metas.	
Nivel de servicio	Service Level	Porcentaje de demanda atendida dentro de parámetros definidos (p. ej., OTIF, fill rate, lead time).	CSCMP / prácticas sector
Fill rate (Tasa de llenado)	Fill Rate	Porción de demanda atendida sin quiebres en el primer intento (por líneas o unidades).	CSCMP, Glossary
Slotting (ubicación de stock)	Slotting	Asignación de ubicaciones óptimas de SKU en almacén según rotación, tamaño y ergonomía para elevar productividad de picking.	WMS best practices
Clasificación ABC	ABC Analysis	Segmentación del inventario por valor/rotación (A crítico, B intermedio, C menor) para priorizar la gestión.	SCM estándar

Backorder	Backorder	Pedido no atendido en el momento que se programa para entrega futura; refleja un faltante temporal.	CSCMP, Glossary
Microhub (microcentro de distribución)	Microhub	Punto logístico urbano, pequeño y cercano a la demanda	Literatura de última milla / prácticas sector

INTRODUCCIÓN

La logística aplicada al sector salud se ha consolidado como uno de los elementos clave para garantizar la continuidad de los servicios médicos, ya que de ella depende que medicamentos, dispositivos y otros insumos lleguen en la cantidad correcta, en el momento oportuno y bajo condiciones adecuadas de conservación. Cuando esta cadena falla o funciona con ineficiencias, no solo se incrementan los costos operativos, sino que se compromete la oportunidad y la calidad de la atención al paciente, especialmente en contextos urbanos complejos como el de Guayaquil. En este escenario, una gestión logística organizada y basada en criterios técnicos deja de ser un valor añadido para convertirse en una condición necesaria para el funcionamiento seguro y sostenible de los servicios de salud (Ordoñez Díaz, 2024; UNIR, 2024).

En el caso ecuatoriano, la relevancia de una gestión adecuada de medicamentos e insumos médicos se encuentra respaldada por un marco normativo específico. La Ley Orgánica de Salud establece que el almacenamiento, distribución y transporte de productos de uso y consumo humano están sujetos a vigilancia y control sanitario, y que el cumplimiento de las normas de buenas prácticas es obligatorio para los establecimientos públicos y privados que intervienen en la cadena de suministro. A ello se suma la Norma Técnica de Buenas Prácticas de Almacenamiento, Distribución y Transporte para establecimientos farmacéuticos y de dispositivos médicos, así como el Manual “Recepción, almacenamiento, distribución y transporte de medicamentos, dispositivos médicos y otros bienes estratégicos en la Red Pública Integral de Salud”, que fijan requisitos mínimos respecto a infraestructura, conservación, trazabilidad y procedimientos operativos (Asamblea Nacional del Ecuador, 2006; Ministerio de Salud Pública, 2022a, 2022b).

En el contexto normativo y operativo vigente se enmarca la realidad de una empresa privada dedicada a la distribución de insumos médicos en la ciudad de Guayaquil, la cual abastece a diversos hospitales y clínicas ubicados en distintos sectores urbanos. La organización cuenta con un centro de distribución principal y una flota vehicular limitada, caracterizada por condiciones mecánicas heterogéneas y por un esquema de mantenimiento que no siempre se ejecuta de manera preventiva ni planificada. A pesar de manejar productos altamente sensibles y sujetos a estrictas regulaciones sanitarias,

la planificación de las rutas de distribución se realiza, en gran medida, de forma empírica, apoyándose principalmente en la experiencia del personal operativo. Las decisiones logísticas suelen priorizar al cliente geográficamente más cercano o a aquel que presenta mayores restricciones en sus ventanas de tiempo, sin la aplicación de herramientas analíticas o modelos cuantitativos que permitan evaluar alternativas de asignación y medir objetivamente el impacto de dichas decisiones sobre los costos logísticos y los tiempos de entrega. Esta problemática ha sido identificada en estudios recientes sobre gestión de la cadena de suministro en el sector salud, los cuales resaltan la necesidad de incorporar metodologías de optimización de rutas y sistemas de apoyo a la toma de decisiones para mejorar la eficiencia operativa y los niveles de servicio (Ballou, 2020; Chopra & Meindl, 2022; World Health Organization [WHO], 2021).

Esta forma de operar ha generado diversos problemas que justifican el desarrollo del presente trabajo. Por un lado, la ausencia de una planificación estructurada de rutas y asignaciones produce recorridos más extensos de lo necesario, uso ineficiente del combustible y sobrecarga de ciertos vehículos. Por otro lado, la empresa no cuenta con indicadores consolidados que le permitan conocer con precisión el costo por consignación, los kilómetros recorridos por entrega o el nivel de servicio efectivo, lo que limita la toma de decisiones basada en datos y dificulta la mejora continua de la operación. Estas debilidades son especialmente críticas en la industria de la salud, donde los requisitos de regulación y las condiciones de transporte son más exigentes que en otros sectores, y donde se espera una trazabilidad y disponibilidad prácticamente continuas de los insumos (Decoexsa, 2024; Shiptify, 2025).

El problema se acentúa al considerar que los establecimientos atendidos se distribuyen entre zonas norte, centro y sur de Guayaquil, con realidades muy distintas en términos de distancia, congestión vehicular y restricciones de acceso. En algunos casos, el ingreso a los hospitales está sujeto a horarios estrictos, controles de documentos y tiempos de permanencia limitados, lo que agrega complejidad a la programación de las entregas. Frente a este escenario, una logística basada únicamente en la intuición y la experiencia del personal resulta insuficiente para equilibrar costos, tiempos y cumplimiento de ventanas horarias, especialmente si se aspira a mantener niveles de servicio altos y constantes hacia los pacientes y equipos clínicos que dependen de estos insumos (Ahona Logistics, 2024; Ministerio de Salud Pública, 2022b).

Ante esta situación, el presente trabajo de titulación se planteó como objetivo general diseñar una propuesta de implementación del Modelo de Transporte para optimizar la red de distribución de la empresa de insumos médicos en la ciudad de Guayaquil. El Modelo de Transporte, enmarcado en la programación lineal, permite determinar la asignación más conveniente entre un conjunto de orígenes y destinos minimizando el costo total de transporte, sujeto a restricciones de oferta y demanda. Su aplicación en el ámbito logístico sanitario posibilita definir, con base numérica, cuántas consignaciones deben enviarse desde el centro de distribución hacia cada establecimiento de salud, considerando capacidades de la empresa, requerimientos de los hospitales y estructura de costos asociados a distancias, tiempos y utilización de la flota (Ordoñez Díaz, 2024; Boualam, 2021).

La investigación se desarrolló con un enfoque cuantitativo, apoyado en el levantamiento y análisis de datos reales de operación: distancias entre el centro de distribución y los hospitales, tiempos de recorrido, costos de combustible, mano de obra y mantenimiento, así como las cantidades demandadas por cada establecimiento. Con esta información se formuló un modelo de transporte resuelto mediante el complemento Solver de Excel, lo que permitió obtener soluciones óptimas de forma accesible para la empresa y demostrar que esta metodología puede ser operada por el propio personal sin necesidad de software altamente especializado. Estudios previos han evidenciado que el uso de Solver en problemas de transporte contribuye a reducir significativamente los costos y a facilitar el análisis de escenarios en logística y cadenas de suministro (Krishnan, 2022; Swilem & Murad, 2019).

En términos de delimitación, el proyecto se circunscribe espacialmente a la ciudad de Guayaquil y al ámbito de distribución externa de una empresa específica del sector salud, considerando un conjunto definido de hospitales y clínicas como destinos de los insumos. Temporalmente, se trabajó con datos representativos de un periodo reciente de operación y se modeló un día típico de trabajo de la flota, de manera que las conclusiones fueran coherentes con las condiciones habituales de demanda y programación de entregas. La propuesta se centró en la optimización de la distribución, sin abarcar procesos de compras, almacenamiento interno o logística intrahospitalaria, que se identifican como posibles líneas de investigación futuras. La estructura del documento sigue las directrices de trabajos de titulación de la Universidad Politécnica

Salesiana, organizándose en capítulos que abarcan el planteamiento del problema, el marco teórico, la metodología, el análisis de resultados y las conclusiones con sus respectivas recomendaciones (Universidad Politécnica Salesiana, 2023; Figueroa, 2020).

CAPÍTULO I: PROBLEMA

ANTECEDENTES

La empresa distribuidora de insumos médicos objeto de estudio presenta una gestión logística de distribución basada principalmente en la experiencia empírica y no en una planificación estructurada. Actualmente, el orden de entrega de la mercadería se define de forma reactiva: se prioriza al cliente geográficamente más cercano o a aquel que ha indicado una hora límite, sin considerar de manera integral criterios como la secuenciación óptima de rutas, la consolidación de pedidos, las ventanas horarias de todos los clientes, la capacidad de la flota o los tiempos de servicio en cada punto. Esta forma de operación, centrada en decisiones del día a día, genera recorridos poco eficientes, mayores kilómetros recorridos, tiempos de entrega variables y una fuerte dependencia del criterio del personal operativo.

La ausencia de una planificación formal de rutas implica que la empresa no cuente con procedimientos estandarizados ni herramientas de apoyo para la programación diaria de la distribución. No se diseñan ni actualizan rutas maestras, no se asignan zonas de reparto de manera estratégica ni se emplean modelos de optimización o sistemas de gestión de transporte. Como consecuencia, resulta complejo anticipar la carga de trabajo de cada vehículo, equilibrar la utilización de la flota y garantizar niveles de servicio homogéneos para todos los clientes. Además, esta falta de estructura limita la medición sistemática de indicadores clave como tiempo promedio de entrega, costo por pedido, porcentaje de entregas dentro del horario comprometido y cumplimiento de promesas de servicio.

A este escenario se suma una gestión de mantenimiento vehicular que tampoco está alineada con las necesidades operativas ni con las buenas prácticas de confiabilidad. La empresa dispone de una flota de tres vehículos destinados a la distribución, pero sólo uno de ellos se encuentra en óptimas condiciones mecánicas, debido a que ha sido adquirido recientemente y recibe sus mantenimientos en la casa de la propia marca, siguiendo los intervalos recomendados. Los dos vehículos restantes se encuentran en una condición media, resultado de mantenimientos que no se realizan oportunamente, se postergan o se abordan únicamente cuando aparecen fallas visibles. En la práctica, predomina un enfoque de mantenimiento correctivo, más que preventivo, lo que

incrementa la probabilidad de averías en ruta, disminuye la disponibilidad real de la flota y genera interrupciones inesperadas en las entregas.

El hecho de operar con solo un vehículo en buen estado y dos en situación mecánica intermedia reduce significativamente la capacidad instalada y la flexibilidad de la empresa para responder a la demanda. Una falla repentina en uno de los vehículos en condición media puede obligar a reprogramar rutas, concentrar toda la operación en la unidad más nueva o incluso suspender entregas, aumentando el riesgo de incumplimiento de horarios límite y posibles desabastecimientos en los establecimientos de salud atendidos. La ausencia de un plan de mantenimiento preventivo formal con cronogramas, kilometrajes de intervención, registros históricos y criterios de fuera de servicio impide coordinar de manera anticipada las paradas de taller con los picos de demanda, lo que agrava el impacto operativo de cada intervención mecánica.

Desde la perspectiva de la ingeniería industrial, la combinación de una planificación de rutas empírica y una gestión de mantenimiento reactiva configura un sistema logístico con alta variabilidad, baja confiabilidad y uso ineficiente de recursos. Se trata de un proceso crítico para la continuidad del servicio de salud que opera sin modelos de optimización, sin indicadores sistematizados y sin políticas claras de mantenimiento de la flota. Estas condiciones iniciales justifican plenamente la necesidad de diseñar e implementar herramientas formales de planificación de la distribución como el Modelo de Transporte y de estructurar un plan de mantenimiento preventivo para la flota vehicular, de manera que la empresa pueda mejorar sus niveles de servicio, reducir costos logísticos y aumentar la confiabilidad de su operación.

También se muestra los centros de distribución que posee la empresa:

Código	Ubicación	Rol operativo
CD-Nexus	Parque de Negocios Nexus 1 (norte)	Abastece zonas norte
CD-Guasma	Frente al Hospital del Guasma (sur)	Abastece zonas sur

CD-Centro	Francisco de Marcos y Tungurahua (centro)	Abastece zonas céntricas
------------------	--	--------------------------

Tabla 1. Fuente los autores.

IMPORTANCIA Y ALCANCES

Importancia para el sector salud y las instituciones involucradas

En el fondo, el problema que enfrenta esta distribuidora de insumos médicos no se queda dentro de sus bodegas ni en sus vehículos: termina impactando directamente en el sistema de salud y, en última instancia, en los pacientes. Cada vez que un insumo no llega a tiempo a un hospital o clínica, hay procedimientos que se posponen, consultas que se reprograman y equipos médicos que no pueden trabajar con normalidad. Por eso, hablar de “logística empírica” en el sector salud no es solo un tema operativo, sino un asunto de continuidad del servicio asistencial.

Organismos como la OMS y la OPS vienen advirtiendo desde hace años que muchas de las rupturas de stock, demoras y pérdidas de productos sanitarios tienen su origen en cadenas de suministro mal planificadas o poco profesionalizadas. En contextos urbanos complejos, con tráfico intenso, horarios restringidos y clientes con ventanas de recepción muy ajustadas, seguir decidiendo las rutas “al ojo” y sin datos hace que cada día de trabajo sea una apuesta: algunas entregas saldrán bien, otras llegarán tarde, y el sistema nunca termina de ser confiable.

Además, las entidades reguladoras y de control sanitario exigen cada vez más trazabilidad, cumplimiento de cadena de frío y evidencia de buenas prácticas logísticas. Una empresa que distribuye insumos médicos con vehículos en condiciones irregulares y rutas improvisadas no solo asume riesgos operativos, sino también el riesgo de no cumplir con las normas y de ser observada en auditorías o procesos de habilitación. Por eso, lo que hoy parece “solo un problema interno de transporte” en realidad toca a hospitales, clínicas, pacientes, reguladores y al propio entorno empresarial vinculado al sector salud.

¿Por qué es importante este trabajo de grado y a quién beneficia?

Este proyecto de titulación busca algo muy concreto: pasar de una forma de trabajar basada en la costumbre y la intuición, a una gestión logística apoyada en herramientas técnicas y criterios medibles. Desde la mirada de un ingeniero industrial, eso significa ordenar la operación, darle método y lograr que las decisiones del día a día tengan sustento en datos y modelos, no solo en la experiencia de quien programa las entregas.

En primer lugar, la propuesta es importante porque incorpora el Modelo de Transporte como apoyo directo a la toma de decisiones. Con él, la empresa puede definir de manera más racional qué centro de distribución debe abastecer a cada cliente y en qué cantidad, buscando el menor costo posible sin descuidar el nivel de servicio. A partir de ahí, planificar rutas deja de ser una “lista de clientes” y pasa a ser un proceso que considera distancias, capacidades, tiempos y prioridades de manera integrada.

En segundo lugar, el trabajo plantea la base para ordenar tanto la programación de la flota como el mantenimiento de los vehículos. No se trata solo de “apretar un poco las tuercas”, sino de pasar de un enfoque correctivo (“se arregla cuando se daña”) a uno preventivo, que permita saber qué vehículo estará disponible, cuándo debe entrar a taller y cómo coordinar eso con la demanda de entregas.

Los beneficiarios son varios y muy claros:

- La empresa distribuidora, porque podrá reducir costos logísticos, usar mejor sus tres vehículos y ofrecer un servicio más confiable.
- Los hospitales y clínicas, porque tendrán mayor certeza de que sus insumos llegarán cuando los necesiten, sin tantas reprogramaciones ni sorpresas de última hora.
- Los pacientes, que son los que terminan sufriendo cuando un tratamiento se retrasa por falta de material o medicamentos.
- La universidad y los futuros ingenieros industriales, que ganan un caso real donde se aplica un modelo cuantitativo a un problema concreto del sector salud, no a un ejercicio “de laboratorio”.

Cómo se manifiesta actualmente el problema en la organización y en el entorno empresarial

En la empresa analizada, el problema se ve todos los días en cómo se organizan las entregas. No hay rutas definidas ni zonas asignadas de forma estructurada; el recorrido se arma sobre la marcha, empezando por “el más cerca” o “el que más apurado está”. Eso significa que un mismo vehículo puede cruzar varias veces zonas similares, acumular kilómetros innecesarios y depender completamente de la experiencia de quien planifica, sin un respaldo en datos o herramientas.

Al no existir procedimientos claros ni indicadores logísticos, la gerencia tampoco puede responder con precisión preguntas simples, pero clave: ¿cuánto cuesta realmente entregar un pedido?, ¿qué porcentaje de entregas llega dentro del horario acordado?, ¿cuántos kilómetros recorre la flota por día para atender la demanda actual? Esa falta de información consolidada hace que las decisiones sean reactivas y dificulta plantear mejoras de fondo.

En paralelo, la situación de la flota agrava el cuadro. La empresa tiene tres vehículos, pero solo uno está en óptimas condiciones; los otros dos funcionan, pero con un nivel de confiabilidad medio, porque sus mantenimientos se han ido postergando. En la práctica, esto significa que una avería inesperada puede dejar a la empresa con un solo vehículo operativo, sobrecargándolo y obligándolo a reprogramar entregas. Es decir, la logística ya parte con una capacidad limitada y con un margen de maniobra muy pequeño frente a cualquier imprevisto.

Si se mira esto desde el entorno empresarial, el efecto es claro: la empresa se vuelve menos competitiva frente a distribuidores que sí planifican sus rutas, cuidan su flota y trabajan con indicadores. Le cuesta más responder a picos de demanda, asumir nuevos clientes o participar en licitaciones exigentes, porque su sistema de distribución es frágil. En un sector como el de insumos médicos; donde la continuidad del servicio es crítica; esa fragilidad no es solo un problema interno, sino un factor que puede afectar a varios actores a la vez.

Por todo ello, este trabajo no se limita a “mejorar un poco las rutas”: apunta a ordenar y fortalecer el corazón logístico de una distribuidora que forma parte de la cadena de atención en salud, con impactos directos en la operación diaria y en la calidad del servicio que reciben los establecimientos sanitarios y sus pacientes.

Delimitación

Para que el trabajo sea claro y manejable, es importante dejar bien definido hasta dónde llega y qué cosas no va a abarcar.

En este caso, el proyecto se centra específicamente en la aplicación del método de transporte para mejorar la planificación de las rutas de distribución. Es decir, el enfoque está puesto en cómo asignar de forma más eficiente los puntos de origen (bodega o centro de distribución) hacia los puntos de destino (clientes del sector salud), usando un modelo de programación lineal. No se pretende desarrollar ni comparar otros modelos más complejos de ruteo, sino demostrar que, solo con el método de transporte, ya es posible ordenar y optimizar la operación actual de la empresa.

Además, el estudio está limitado geográficamente a la ciudad de Guayaquil, en Ecuador. Toda la información utilizada, las distancias consideradas y las propuestas de mejora se construyen tomando como referencia la realidad urbana y operativa de Guayaquil. No se analizan rutas interprovinciales ni operaciones en otras ciudades; por tanto, los resultados están pensados para este contexto específico y cualquier aplicación en otro territorio requeriría ajustes adicionales.

También es importante señalar que la propuesta se desarrolla sobre el caso de una sola empresa distribuidora de insumos médicos, con su propia flota, sus clientes y su forma actual de trabajar. No se trata de un estudio de todo el sector ni de un análisis comparativo entre varias empresas, sino de un caso aplicado que busca generar una solución concreta para esta organización, con la posibilidad de que, más adelante, pueda servir de referencia para otras empresas con problemas similares.

Finalmente, el horizonte de análisis se basa en datos recientes y en un periodo de planificación determinado, que permite construir el modelo y evaluar su impacto en el corto y mediano plazo. No se plantea una proyección a varios años ni un seguimiento

de larga duración, sino una propuesta técnica que la empresa pueda implementar y ajustar a medida que vaya obteniendo resultados en su operación diaria en Guayaquil.

OBJETIVOS

Objetivo General

Diseñar una propuesta de implementación del Modelo de Transporte con el fin de optimizar la red logística de distribución en una empresa del sector salud en la ciudad de Guayaquil.

Objetivos específicos

- Analizar la situación actual de la red logística de distribución en la empresa del sector salud, identificando puntos críticos de ineficiencia en tiempos, costos y cobertura.
- Aplicar el Modelo de Transporte como herramienta cuantitativa para proponer rutas y asignaciones óptimas que minimicen los costos de distribución.
- Evaluar el impacto potencial de la implementación del modelo en los indicadores logísticos clave, como tiempos de entrega, costos operativos y nivel de servicio.

CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LA LITERATURA

EL SECTOR SALUD

Constituye uno de los pilares centrales de cualquier sociedad, ya que se encarga de proteger y mejorar el bienestar físico, mental y social de las personas mediante la prestación de servicios asistenciales, acciones de salud pública y actividades de investigación e innovación. En el contexto de 2025, este sector atraviesa una etapa de cambios profundos, marcada por transformaciones tecnológicas, nuevas demandas de la población y la necesidad de fortalecer la resiliencia de los sistemas frente a crisis sanitarias como la vivida con la pandemia de COVID-19 (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2000; Murray & Frenk, 2000; OMS, 2024a).

ASPECTOS CLAVE DEL SECTOR SALUD

Salud pública y atención individual

La atención médica convencional se enfoca principalmente en la identificación de enfermedades, su tratamiento y la recuperación del paciente de manera individual. En contraste, la salud pública adopta un enfoque poblacional, orientado a la prevención de enfermedades, la prolongación de la esperanza de vida y la promoción del bienestar colectivo. Para ello, se apoya en intervenciones como programas de inmunización, promoción de hábitos de vida saludables, sistemas de vigilancia epidemiológica y el desarrollo de políticas públicas que consideran los determinantes sociales, económicos y ambientales que influyen en el estado de salud de la población (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2021).

Funciones principales de los sistemas de salud

De acuerdo con el marco conceptual de la OMS, todo sistema de salud se sustenta en cuatro funciones esenciales: la prestación de servicios (red de hospitales, centros de

salud y servicios de apoyo), el financiamiento (recaudación, protección financiera y asignación de recursos), la rectoría o gobernanza (planificación, regulación, dirección estratégica) y la generación de recursos, que incluye la formación y distribución del personal sanitario, la producción y suministro de medicamentos, así como la infraestructura física y tecnológica (Murray & Frenk, 2000; Sida, 2023).

Importancia global de la salud

La salud es reconocida como un derecho humano básico y, al mismo tiempo, como un componente clave para el desarrollo económico y social de los países. Sistemas de salud sólidos permiten mejorar la productividad, reducir la pobreza y disminuir las brechas de desigualdad dentro y entre naciones. La experiencia reciente de la pandemia de COVID-19 evidenció que las amenazas sanitarias pueden propagarse rápidamente a escala mundial, por lo que se requiere una agenda internacional coordinada que incluya la cobertura sanitaria universal, la preparación frente a emergencias y el fortalecimiento de la cooperación entre Estados (OMS & Banco Mundial, 2023; OMS, 2020).

Desafíos actuales

En 2025, el sector salud enfrenta un conjunto de retos complejos que combinan presiones financieras, cambios demográficos, transiciones epidemiológicas y avances tecnológicos. Estos desafíos ponen a prueba la capacidad de los sistemas para responder de manera oportuna y equitativa, y amenazan con frenar los progresos alcanzados en décadas previas en materia de cobertura y resultados sanitarios (Institute for Health Metrics and Evaluation [IHME], 2024; OMS, 2024^a; Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE], 2025).

Financiamiento

Diversos informes muestran que la inversión global en salud se ha desacelerado o incluso reducido en algunos contextos, principalmente por limitaciones fiscales, endeudamiento y reorientación de prioridades de gasto público. Esta situación puede comprometer la sostenibilidad de programas esenciales, la respuesta ante emergencias y la capacidad para ampliar la cobertura de servicios de calidad, especialmente en países de ingresos bajos y medios (IHME, 2024; Kurowski et al., 2024; Summers et al., 2025).

Recursos humanos e infraestructura

Una de las principales debilidades señaladas a nivel mundial es la escasez de trabajadores de salud adecuadamente formados y distribuidos, junto con carencias en infraestructura, equipamiento, medicamentos y otros insumos estratégicos. Estas limitaciones son más evidentes en zonas rurales, países en desarrollo y contextos frágiles, lo que acentúa las desigualdades en el acceso a la atención oportuna y de calidad (Boniol et al., 2022; OMS, 2022; Organización Panamericana de la Salud [OPS], 2025).

Enfermedades infecciosas y resistencia a medicamentos

A pesar de los avances, enfermedades infecciosas como el VIH, la malaria, la tuberculosis y el propio COVID-19 siguen representando una amenaza importante para millones de personas, en particular en regiones de alta vulnerabilidad. A esto se suma el problema creciente de la resistencia a los antimicrobianos, que reduce la eficacia de antibióticos y otros medicamentos, incrementa los costos de atención y se ha convertido en una de las mayores amenazas para la salud pública global (OMS, 2024b; OMS, 2024c; OMS, 2024d; OMS, 2023a).

Envejecimiento poblacional y enfermedades crónicas

El envejecimiento de la población, combinado con cambios en el estilo de vida, ha impulsado un aumento sostenido de las enfermedades crónicas no transmisibles, como las cardiovasculares, la diabetes, diversos tipos de cáncer, las enfermedades respiratorias crónicas y los trastornos de salud mental. Estas patologías suelen requerir atención continua, tecnología diagnóstica y tratamientos de larga duración, lo que genera una carga considerable para los sistemas sanitarios y los sistemas de protección social (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2024; OMS, 2025^a; Luciani et al., 2023).

Equidad y acceso

Aún persisten brechas profundas de acceso a servicios de salud entre regiones, grupos socioeconómicos, áreas rurales y urbanas, así como entre diferentes grupos poblacionales. Esta situación pone de relieve la importancia de fortalecer la atención primaria de salud como puerta de entrada al sistema, con equipos multiprofesionales, enfoque comunitario y financiamiento adecuado, en línea con la meta de lograr la cobertura sanitaria universal (OMS & Banco Mundial, 2023).

Tendencias y oportunidades (2025)

Salud digital y telemedicina

La transformación digital se ha consolidado como una prioridad estratégica para muchos sistemas de salud. La expansión de la telemedicina, las aplicaciones móviles de salud, las plataformas de historia clínica electrónica y los dispositivos portátiles de monitoreo permiten acercar los servicios a la población, mejorar el seguimiento de pacientes crónicos y facilitar la continuidad del cuidado, especialmente en territorios con barreras geográficas o de movilidad (OMS, 2021; Hu, 2025).

Inteligencia artificial en salud

La inteligencia artificial (IA) se está incorporando progresivamente en la práctica clínica y en la gestión sanitaria. Algoritmos de aprendizaje automático y herramientas de análisis de grandes volúmenes de datos se utilizan para apoyar el diagnóstico, predecir riesgos, optimizar la asignación de recursos y mejorar la planificación hospitalaria, siempre que se apliquen con criterios éticos, transparencia y supervisión profesional (Giansanti, 2024; Prabowo et al., 2025).

Medicina de precisión y genómica

Los progresos en genómica, bioinformática y en las tecnologías ómicas han dado lugar al fortalecimiento de la medicina de precisión, un enfoque que pretende personalizar las estrategias de prevención, diagnóstico y tratamiento considerando las características genéticas, biológicas y los hábitos de vida de cada individuo. Esta perspectiva ha mostrado avances significativos especialmente en campos como la oncología, el manejo de enfermedades raras y la farmacogenómica; no obstante, su implementación aún enfrenta retos importantes relacionados con los costos, la equidad en el acceso y los marcos éticos y regulatorios necesarios para su aplicación a gran escala (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2022; Kekulandara et al., 2024).

Colaboración e investigación

La experiencia reciente con pandemias y otras emergencias sanitarias ha puesto en evidencia que la investigación en salud y el desarrollo de nuevas tecnologías requieren de una fuerte cooperación entre sistemas públicos, universidades, centros de investigación, organismos multilaterales e industria farmacéutica. Solo así es posible acelerar la innovación en vacunas, medicamentos, diagnósticos y estrategias de salud pública que respondan a las necesidades globales (OCDE, 2025; OMS, 2020).

Prioridad del bienestar y rol de las personas

Cada vez más, la ciudadanía otorga mayor importancia a su bienestar integral y demanda información, servicios y productos que le ayuden a cuidar su salud física y

mental, prevenir enfermedades y mantener estilos de vida más saludables. Este cambio cultural abre oportunidades para fortalecer la educación para la salud, impulsar políticas de promoción del bienestar y alinear los sistemas sanitarios con la definición amplia de salud como un estado de completo bienestar físico, mental y social (OMS, 2020; OMS, 2025a).

CADENAS DE SUMINISTRO EN SALUD

En los últimos años la logística en el sector salud ha dejado de verse como una actividad de apoyo y se ha reconocido como un componente esencial de la calidad del servicio. Buena parte de la literatura reciente coincide en que, si la cadena de suministro falla, el impacto se siente directamente en la atención al paciente, ya sea por desabastecimientos, retrasos o pérdida de productos sensibles a la temperatura (Goodarzian et al., 2025; Ma et al., 2025).

Goodarzian et al. (2025), por ejemplo, proponen una red de suministro sostenible para el sector salud en la que combinan decisiones de localización, inventario y distribución, incluso con el uso de vehículos eléctricos. Su principal hallazgo es que pequeños cambios en el diseño logístico pueden marcar una diferencia importante en la disponibilidad de insumos y en los costos de operación. De forma complementaria, Ma et al. (2025) muestran cómo la llamada “inteligencia digital” (analítica, IoT, plataformas conectadas) actúa como puente entre la capacidad de innovación de las organizaciones y el desempeño de sus cadenas de suministro, reforzando la idea de que la logística ya no puede gestionarse únicamente por experiencia o costumbre.

Las revisiones sistemáticas sobre logística hospitalaria también señalan que persisten cuellos de botella en procesos de abastecimiento, almacenamiento y distribución, especialmente en entornos donde la planificación es poco formal o depende de decisiones empíricas (Anthara et al., 2024; Altunoglu et al., 2024). En estos trabajos se repiten problemas como la variabilidad de la demanda, la falta de integración de datos y la ausencia de indicadores claros, lo que tiene mucho que ver con la realidad de una distribuidora que organiza sus rutas “sobre la marcha”.

En América Latina, Lacayo (2023) analiza la cadena de suministro de insumos médicos en el sistema de salud nicaragüense y concluye que la escasa planificación y

la poca utilización de herramientas cuantitativas se traducen en quiebres de stock y dificultades para sostener un abastecimiento continuo. De manera similar, Vargas-Pérez (2022) revisa estrategias de mejora en logística hospitalaria y reafirma que la profesionalización de la gestión logística; incluido el diseño de rutas y el seguimiento de indicadores; es clave para ganar eficiencia y confiabilidad.

En el contexto ecuatoriano, varios trabajos recientes abordan la gestión de inventarios y la cadena de suministro de insumos de salud. Luna (2024) aplica herramientas como Lean Six Sigma y clasificación ABC para optimizar los inventarios farmacéuticos en una organización médica y demuestra que, al ordenar las existencias y sus flujos, se reducen costos y se mejora la disponibilidad de medicamentos críticos. Por su parte, Gómez Panimboza (2025) estudia la cadena de suministro de insumos médicos en una empresa de Santa Elena y pone de relieve la importancia de integrar tecnología y buenas prácticas logísticas para mejorar la trazabilidad y disminuir las pérdidas.

En conjunto, estos aportes ayudan a entender que el problema de una distribuidora que opera de manera empírica, sin una planificación clara de rutas ni una gestión estructurada de la flota, no es un caso aislado, sino la expresión local de debilidades logísticas que la literatura ya ha señalado en el sector salud de la región.

MODELOS DE DISTRIBUCIÓN EN LA CADENA DE SUMINISTROS

Los modelos de distribución en la gestión logística explican la forma en que los productos se desplazan dentro de la red de suministro, desde los centros de origen hasta los consumidores finales, integrando decisiones clave sobre inventarios, reposición y localización de instalaciones. Estos modelos combinan el análisis de los flujos físicos de mercancías con políticas de planificación y herramientas analíticas que permiten optimizar la asignación de la demanda, reducir costos logísticos y mejorar los niveles de servicio al cliente. En la práctica empresarial, su aplicación facilita la toma de decisiones estratégicas relacionadas con el diseño de la red, la ubicación de centros de distribución y la coordinación eficiente entre los distintos eslabones de la cadena de suministro (Chopra & Meindl, 2021).

MODELOS DE RED Y FLUJO

Envío directo

El modelo de envío directo se caracteriza por el despacho de los productos desde el punto de origen, como una planta de producción o un centro de distribución, directamente hacia el cliente final o lugar de consumo, sin utilizar instalaciones intermedias. Este esquema resulta especialmente conveniente para el manejo de cargas completas, productos de alto valor o pedidos que requieren entregas rápidas, ya que disminuye los tiempos de tránsito y la cantidad de manipulaciones. Sin embargo, su aplicación puede implicar mayores costos unitarios de transporte cuando los volúmenes enviados son reducidos o la demanda se encuentra altamente fragmentada (Chopra & Meindl, 2021; Simchi-Levi et al., 2021).

Cross-docking

El modelo de *cross-docking* se basa en la recepción de la mercancía en una plataforma logística donde es descargada, clasificada y redistribuida de manera casi inmediata hacia los destinos finales, evitando su almacenamiento prolongado. Este esquema se apoya en la rápida consolidación y desconsolidación de flujos, lo que contribuye a reducir los niveles de inventario, minimizar los tiempos de permanencia de los productos y acortar el ciclo pedido–entrega. Su correcta implementación requiere una demanda relativamente predecible, sistemas de información confiables y una coordinación estrecha entre proveedores, operadores logísticos y transportistas, a fin de garantizar la sincronización de las operaciones (Chopra & Meindl, 2021; Boysen et al., 2021).

Milk run

El modelo *milk run* se fundamenta en el uso de rutas logísticas planificadas que permiten recoger o entregar materiales en varios puntos durante un solo recorrido, en lugar de efectuar múltiples viajes directos e independientes. Este esquema es ampliamente utilizado en la industria manufacturera, especialmente en el sector

automotriz y en sistemas de producción *justo a tiempo*, ya que facilita la consolidación de pequeños volúmenes provenientes de distintos proveedores o destinados a varios clientes. Su aplicación contribuye a optimizar la utilización del transporte, reducir los kilómetros recorridos, disminuir los costos logísticos y mitigar el impacto ambiental asociado a las emisiones, siempre que exista una adecuada coordinación y programación de las rutas (Chopra & Meindl, 2021; García-Arca et al., 2020).

Hub-and-spoke

Las redes logísticas con estructura *hub-and-spoke* se organizan alrededor de uno o varios nodos centrales que concentran los flujos de mercancías para posteriormente redistribuirlos hacia nodos periféricos. Este tipo de configuración permite consolidar volúmenes, estandarizar rutas de transporte y aprovechar economías de escala tanto en las operaciones como en los costos de traslado. No obstante, también puede generar recorridos más largos y una alta dependencia operativa de los hubs, lo que incrementa la vulnerabilidad ante interrupciones. A pesar de estas limitaciones, el modelo *hub-and-spoke* continúa siendo predominante en redes de paquetería, transporte aéreo de carga y sistemas logísticos multimodales debido a su eficiencia estructural y operativa (Alumur et al., 2021).

Pool distribution o consolidación regional

La distribución en *pool* o consolidación regional consiste en concentrar mercancías procedentes de distintos orígenes o proveedores en un centro logístico regional, desde el cual se organiza la distribución de última milla hacia clientes o puntos de venta ubicados en una zona geográfica definida. Este enfoque permite aumentar el número de entregas por recorrido, mejorar la utilización de los vehículos y reducir el costo unitario por entrega. Por estas características, la consolidación regional resulta especialmente adecuada para el sector minorista y el canal moderno, donde existe una alta densidad de puntos de entrega y una frecuencia elevada de reabastecimiento, contribuyendo además a una mayor eficiencia operativa y sostenibilidad del sistema logístico (Chopra & Meindl, 2021; Rodrigue et al., 2020).

MODELOS DE PLANEACIÓN Y REPOSICIÓN

DRP (Distribution Requirements Planning)

El *Distribution Requirements Planning* (DRP) es un método de planificación logística que convierte los pronósticos de demanda en requerimientos de reposición coordinados a lo largo de una red de distribución estructurada en varios niveles, como centros de distribución centrales, regionales y puntos de venta. Este enfoque opera con períodos de tiempo definidos, determina las necesidades brutas y netas de inventario y genera órdenes planificadas considerando variables como los niveles disponibles, los tiempos de entrega y los tamaños de lote. De esta forma, el DRP contribuye a sincronizar el reabastecimiento entre los distintos eslabones de la red, mejorar la disponibilidad de productos y reducir desbalances de inventario en sistemas de distribución complejos (Jacobs & Chase, 2021; Chopra & Meindl, 2021).

VMI (Vendor Managed Inventory)

El Vendor Managed Inventory (VMI) es un esquema colaborativo de gestión de inventarios en el que el proveedor es responsable de supervisar los niveles de stock del cliente y de tomar las decisiones sobre el momento y la cantidad de reposición, conforme a parámetros previamente acordados de niveles de servicio, inventarios mínimos y máximos. Este enfoque permite disminuir los quiebres de stock y los excedentes de inventario, mejorar la visibilidad de la demanda real y fortalecer la coordinación entre las partes involucradas. No obstante, su implementación efectiva requiere sistemas de información confiables, intercambio oportuno de datos y una definición clara de roles y responsabilidades para evitar conflictos operativos (Chopra & Meindl, 2021; Govindan et al., 2020).

CPFR (Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment)

El enfoque de *Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment* (CPFR) se basa en la cooperación estructurada entre fabricantes, distribuidores y minoristas para desarrollar de manera conjunta los pronósticos de demanda, la planificación de

promociones y las decisiones de reposición. Mediante acuerdos formales, procesos estandarizados y la revisión colaborativa de excepciones, el CPFR busca reducir las diferencias entre las previsiones individuales de los actores, alinear los planes comerciales y mitigar el efecto látigo dentro de la cadena de suministro. Como resultado, este modelo contribuye a mejorar la disponibilidad de los productos, optimizar la rotación de inventarios y fortalecer la integración entre los distintos eslabones de la red logística (Chopra & Meindl, 2021; Attaran & Attaran, 2020).

MODELOS ANALÍTICOS DE DISEÑO DE RED Y ASIGNACIÓN

Localización de instalaciones (Facility Location)

Los modelos de localización de instalaciones se utilizan para determinar la ubicación óptima de plantas, centros de distribución o almacenes, así como la asignación de clientes a cada instalación, con el propósito de minimizar los costos logísticos y operativos o maximizar la cobertura y los niveles de servicio. Estos modelos suelen formularse como problemas de optimización (como p-mediana, p-center o modelos con costos fijos) y se expresan mediante programación lineal entera mixta, resolviéndose a través de métodos exactos o heurísticos según la complejidad y el tamaño del sistema. Su aplicación resulta clave para el diseño estratégico de redes logísticas eficientes y resilientes (Farahani et al., 2020; Alumur et al., 2021).

Modelos de hubs y transbordo

Los modelos de localización de *hubs* amplían los enfoques tradicionales de localización de instalaciones al incorporar nodos centrales encargados de concentrar y redistribuir los flujos de mercancías, permitiendo aprovechar economías de escala en los tramos de transporte entre hubs. De manera complementaria, los modelos de transbordo consideran la posibilidad de transferir carga entre distintas rutas o nodos intermedios dentro de la red, lo que brinda mayor flexibilidad operativa para equilibrar flujos, reducir costos totales y mejorar los niveles de servicio, especialmente en redes logísticas extensas, complejas o de carácter multimodal (Alumur et al., 2021; Farahani et al., 2020).

Transporte y transshipment

El modelo clásico de transporte se utiliza para determinar la asignación óptima de flujos de mercancías desde múltiples orígenes hacia diversos destinos, garantizando el cumplimiento de las disponibilidades y demandas al menor costo total posible. Este tipo de problemas se formula mediante programación lineal y se resuelve con métodos como el algoritmo Simplex o procedimientos especializados. Cuando el modelo incorpora la posibilidad de transferencias laterales de productos entre nodos intermedios —conocidas como *transshipment*— se amplía su alcance para incluir decisiones de reabastecimiento entre almacenes o centros de distribución, lo que aporta mayor flexibilidad operativa, mejora el nivel de servicio y contribuye a reducir faltantes en ubicaciones específicas dentro de la red logística (Hillier & Lieberman, 2021; Chopra & Meindl, 2021).

Modelos multi-echelon e inventario-red

Los modelos *multi-echelon* e inventario-red estudian de forma integrada los niveles de stock en los distintos eslabones de la cadena de suministro (como plantas, centros de distribución y puntos de venta) con el fin de definir dónde mantener inventario, en qué cantidades y bajo qué políticas de control, buscando cumplir los niveles de servicio al menor costo total. Estos modelos vinculan las decisiones de diseño de la red logística con políticas de inventario, como esquemas de revisión continua o periódica, y analizan cómo la variabilidad de la demanda y el riesgo se distribuyen o concentran en determinados nodos de la red. Su aplicación resulta clave para mejorar la coordinación entre niveles, reducir costos globales y aumentar la resiliencia del sistema logístico (Chopra & Meindl, 2021; Simchi-Levi et al., 2021).

MODELOS DE TRANSPORTE

Este documento resume los modelos de transporte en Investigación de Operaciones y gestión de la cadena de suministro: formulación clásica, métodos de solución, variantes y extensiones (*transshipment*, costos fijos, multi-commodity, estocástico,

multi-periodo), además de su relación con problemas afines (asignación, ruteo y flujos en red). Incluye referencias académicas y profesionales confiables.

Definición y contexto

El modelo de transporte constituye una formulación específica de la programación lineal orientada a determinar la asignación óptima de flujos entre múltiples orígenes y destinos, con el objetivo de minimizar el costo total de envío mientras se satisfacen las restricciones de oferta y demanda. Este modelo es uno de los pilares del análisis de redes y tiene amplias aplicaciones en la logística y la gestión de operaciones, tales como la distribución física de mercancías, la asignación de producción entre plantas y la planificación táctica del abastecimiento. Su relevancia se mantiene vigente debido a su utilidad para apoyar decisiones operativas y estratégicas en cadenas de suministro complejas (Hillier & Lieberman, 2021; Taha, 2022).

MÉTODOS PARA SOLUCIONES INICIALES FACTIBLES

Esquina Noroeste (Northwest Corner).

El método de la Esquina Noroeste (Northwest Corner) es una técnica heurística utilizada para obtener una solución inicial factible en el modelo de transporte. Este procedimiento comienza asignando la mayor cantidad posible en la celda ubicada en la primera fila y primera columna de la matriz de costos, avanzando posteriormente de manera secuencial por filas o columnas según se agoten las ofertas o demandas. Si bien destaca por su simplicidad y rapidez de aplicación, no considera los costos unitarios de transporte, por lo que generalmente conduce a soluciones con costos totales elevados y alejadas del óptimo (Taha, 2022).

Costo Mínimo (Least Cost).

El método de Costo Mínimo (Least Cost) es una heurística empleada para construir una solución inicial en el modelo de transporte, mediante la asignación de la mayor

cantidad posible al enlace con el menor costo unitario disponible en la matriz. Tras cada asignación, se actualizan las disponibilidades de oferta y las demandas, repitiendo el proceso hasta completar todas las asignaciones requeridas. En comparación con el método de la Esquina Noroeste, este enfoque suele generar soluciones iniciales con un costo total menor; sin embargo, puede introducir sesgos en la estructura de la base inicial, lo que en algunos casos dificulta la convergencia eficiente hacia la solución óptima (Hillier & Lieberman, 2021).

Aproximación de Vogel (VAM).

La Aproximación de Vogel (Vogel's Approximation Method, VAM) es una técnica heurística utilizada para obtener una solución inicial en el modelo de transporte, basada en el cálculo de penalidades por fila y columna, definidas como la diferencia entre los dos costos unitarios más bajos disponibles. Estas penalidades permiten priorizar las asignaciones en aquellas filas o columnas donde una mala decisión tendría un mayor impacto en el costo total. Gracias a este criterio, el método de Vogel suele generar soluciones iniciales de buena calidad, generalmente más cercanas al óptimo en comparación con otros procedimientos como la Esquina Noroeste o el método de Costo Mínimo (Taha, 2022; Hillier & Lieberman, 2021).

PRUEBAS DE OPTIMALIDAD Y MEJORA

Método de la piedra angular (Stepping-Stone).

El método de la piedra angular (*Stepping-Stone*) es una técnica de mejora utilizada en el modelo de transporte para evaluar la optimalidad de una solución factible inicial. Este procedimiento analiza los costos reducidos asociados a celdas no básicas mediante la construcción de ciclos cerrados, a lo largo de los cuales se redistribuyen las cantidades asignadas si se identifica una reducción en el costo total. Aunque su aplicación puede resultar laboriosa en problemas de gran escala, el método es especialmente útil con fines didácticos y en problemas de tamaño medio, ya que permite comprender de manera clara la lógica de mejora iterativa y la estructura del modelo de transporte (Hillier & Lieberman, 2021).

Método MODI (U–V).

El método MODI (Modified Distribution Method o método U–V) es una técnica de optimización empleada para verificar y mejorar la solución de un problema de transporte. Este procedimiento consiste en calcular los potenciales asociados a las filas y columnas correspondientes a las celdas básicas, a partir de los cuales se determinan los costos reducidos para las celdas no básicas. Cuando todos los costos reducidos son mayores o iguales a cero, la solución se considera óptima; en caso contrario, se realizan ajustes para reducir el costo total. El método MODI es conceptualmente equivalente a una aplicación del método Simplex adaptada a problemas de redes, lo que lo convierte en una herramienta eficiente y ampliamente utilizada en la optimización del modelo de transporte (Hillier & Lieberman, 2021; Taha, 2022).

Simplex y Network Simplex.

El problema de transporte puede resolverse mediante el método Simplex de la programación lineal o a través de algoritmos especializados para flujos en redes, como el *Network Simplex*. Estas variantes explotan la estructura de red del problema para mejorar significativamente la eficiencia computacional, reduciendo el número de iteraciones y el tamaño de la base. Debido a estas ventajas, el *Network Simplex* resulta especialmente apropiado para instancias de gran escala en aplicaciones logísticas, de distribución y planificación del transporte, donde se requiere un alto desempeño computacional (Hillier & Lieberman, 2021; Bertsekas, 2021).

VARIANTES Y EXTENSIONES DEL MODELO DE TRANSPORTE

Problema no balanceado y degeneración.

En el modelo de transporte, un problema se considera no balanceado cuando la suma de las ofertas no coincide con la suma de las demandas. En estos casos, se incorporan nodos ficticios —ya sea de oferta o de demanda— con costos apropiados, con el fin de equilibrar el modelo y permitir su resolución mediante técnicas estándar de

programación lineal. Por otro lado, la degeneración ocurre cuando el número de celdas básicas es inferior al requerido para mantener una base factible; esta situación se corrige introduciendo asignaciones nulas debidamente identificadas, lo que garantiza la estabilidad de la base y la correcta aplicación de los métodos de optimización. El tratamiento adecuado de ambos aspectos es fundamental para asegurar la convergencia y validez de la solución del problema de transporte (Hillier & Lieberman, 2021; Taha, 2022).

Rutas prohibidas y penalizaciones.

Las rutas prohibidas y las penalizaciones en el modelo de transporte se representan mediante la asignación de costos artificialmente elevados (valores M grandes) o mediante la eliminación directa de los arcos correspondientes, con el fin de impedir su selección en la solución óptima. Asimismo, el modelo puede ampliarse incorporando costos adicionales asociados a tramos específicos, peajes, restricciones de capacidad o ventanas de tiempo, lo que permite reflejar de manera más realista las condiciones operativas del sistema logístico. Estas extensiones aumentan la capacidad del modelo para apoyar la toma de decisiones en contextos complejos de distribución y transporte (Hillier & Lieberman, 2021; Chopra & Meindl, 2021).

Transshipment (transbordo).

El modelo de *transshipment* o transbordo amplía el modelo clásico de transporte al permitir que los flujos de mercancías pasen a través de nodos intermedios antes de llegar a su destino final. Esta característica posibilita la existencia de flujos laterales entre instalaciones, lo que resulta especialmente útil en redes logísticas con múltiples niveles, centros de distribución interconectados o sistemas multimodales. Desde el punto de vista analítico, el problema se formula como un modelo de flujo en redes, lo que permite aplicar algoritmos eficientes de optimización para mejorar el balance de flujos, reducir costos totales y aumentar la flexibilidad operativa del sistema (Hillier & Lieberman, 2021; Bertsekas, 2021).

Transporte con costos fijos (Fixed-Charge Transportation).

Incorpora costos fijos de abrir/usar un arco además de costos variables. Requiere programación entera mixta (MIP) y a menudo heurísticas o descomposición (Hillier & Lieberman, 2021).

Transporte multi-commodity.

El transporte *multi-commodity* considera el envío simultáneo de varios productos que comparten la capacidad de arcos o nodos dentro de una red logística. Este tipo de problema suele formularse como un modelo de programación entera mixta, donde las restricciones de capacidad acoplan los distintos flujos. Su aplicación es común en sectores como energía, retail y manufactura, donde múltiples bienes compiten por recursos logísticos limitados (Bertsekas, 2021; Hillier & Lieberman, 2021).

Transporte estocástico y robusto.

El transporte estocástico y robusto incorpora la incertidumbre en la demanda, los costos o los tiempos de entrega mediante el uso de escenarios probabilísticos o conjuntos robustos de parámetros. Estos enfoques permiten diseñar soluciones que mantengan un desempeño adecuado frente a la variabilidad, reduciendo el riesgo operativo y mejorando la resiliencia de la red logística (Chopra & Meindl, 2023; Bertsimas et al., 2022).

Transporte multi-periodo y políticas de inventario.

Extiende el horizonte temporal para incluir inventarios, backorders y costos de mantenimiento, conectando el transporte con DRP y decisiones tácticas (Chopra & Meindl, 2023).

RELACIÓN CON PROBLEMAS AFINES

Asignación.

Caso particular del transporte con $a_i = b_j = 1$ (o iguales), resuelto eficientemente por el algoritmo húngaro o como PL con estructura especial (Hillier & Lieberman, 2021).

Ruteo de vehículos (VRP).

El ruteo de vehículos (Vehicle Routing Problem, VRP) complementa al modelo de transporte al determinar no solo cuánto enviar, sino también la secuencia óptima de visitas y la consolidación de entregas en rutas que respetan restricciones de capacidad, tiempo y ventanas de atención. Este modelo es fundamental para optimizar la distribución urbana y la última milla, donde la eficiencia de las rutas impacta directamente en los costos y el nivel de servicio (Toth & Vigo, 2022).

Flujos en red y multi-commodity.

El modelo de transporte puede entenderse como un caso particular de los flujos en red. La teoría de network flows proporciona algoritmos escalables para problemas más generales, incluidos escenarios multi-commodity, mediante técnicas como el network simplex y métodos de descomposición, lo que permite resolver redes logísticas de gran tamaño de manera eficiente (Bertsekas, 2021; Hillier & Lieberman, 2021).

USO PRÁCTICO Y LINEAMIENTOS

Datos: matriz de costos c_{ij} , ofertas a_i , demandas b_j , y restricciones operativas.

Procedimiento típico: VAM/Least-Cost → MODI/Stepping-Stone → verificación con Simplex.

Evaluación: comparar escenarios (Actual vs Óptimo) y realizar sensibilidad (± 10 –20%).

Cuando usar: cuando la prioridad es asignación costo-mínima origen-destino; si se necesita secuenciar paradas, complementar con VRP. (Hillier & Lieberman, 2021).

OPTIMIZACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN, MODELO DE TRANSPORTE Y RUTEO DE VEHÍCULOS

Otro bloque importante de literatura se centra en los modelos matemáticos para mejorar la distribución física de productos, especialmente el modelo de transporte y los problemas de ruteo de vehículos. Nielsen et al. (2024) realizan una revisión sistemática del problema de ruteo de vehículos y muestran la diversidad de variantes que existen según el tipo de red, las restricciones de capacidad y las ventanas de tiempo, pero también recuerdan que la esencia sigue siendo la misma: decidir qué vehículos visitan qué clientes y en qué orden para reducir costos y mejorar el servicio.

Shuaibu et al. (2025) se enfocan en la llamada “última milla” y explican cómo se han combinado modelos de programación entera mixta con herramientas de inteligencia artificial para enfrentar problemas de tráfico, horarios y restricciones urbanas. Un punto interesante de su trabajo es que demuestran que, aun cuando se incorporan tecnologías avanzadas, la base sigue siendo un modelo bien formulado de asignación y ruteo. De forma similar, Bosona (2020) revisa la logística de última milla en ciudades y destaca que la congestión, la fragmentación de entregas y la falta de coordinación entre actores hacen indispensable apoyarse en modelos de optimización para tomar decisiones.

En el terreno concreto de la logística sanitaria, se han planteado modelos de optimización para distintos eslabones. Anthara et al. (2024) proponen un modelo para la cadena de suministro de sangre que integra localización, inventario y distribución, y muestran cómo una mejor asignación de rutas y recursos reduce el riesgo de desabastecimiento. Altunoglu et al. (2024), por su parte, desarrollan un modelo de localización–distribución multiobjetivo para cadenas de suministro de salud, donde además de los costos se consideran criterios de sostenibilidad y resiliencia.

Desde una perspectiva más orientada a la incertidumbre, Damasio (2025) plantea un modelo robusto para la distribución de suministros hospitalarios que incorpora escenarios de demanda variable, mientras que Alidoost et al. (2025) combinan simulación y optimización para cadenas de suministro de productos perecibles en salud. Ambos trabajos coinciden en que, sin un modelo que ordene las decisiones de

transporte, la operación se vuelve muy sensible a cambios en la demanda o en los tiempos de entrega.

Aunque buena parte de la literatura se apoya en variantes avanzadas del problema de ruteo, el modelo de transporte clásico sigue siendo una herramienta útil cuando el interés principal es definir la mejor forma de asignar centros de distribución y clientes, con capacidades y demandas conocidas. Liu et al. (2025) muestran, en un estudio sobre logística de cadena de frío, que una formulación adecuada de los costos y restricciones permite encontrar configuraciones de distribución que equilibran costos, tiempos y satisfacción del cliente. Del mismo modo, Soto-Concha et al. (2025) revisan modelos de programación lineal entera mixta para ruteo y resaltan que la estructura básica de “enviar cierta cantidad de un origen a un destino” sigue estando en el corazón de muchos modelos modernos.

Otros autores abordan problemas emparentados, como la recolección y transporte de residuos médicos. Wensi (2025) presenta una revisión del ruteo de vehículos para residuos sanitarios y concluye que una planificación deficiente genera sobrecostos y riesgos ambientales y de salud, algo que refuerza la idea de que en el sector salud no basta con “salir a repartir”; es necesario planificar desde el diseño de las rutas.

En América Latina también se han aplicado estos enfoques. Benalcázar Paredes (2023), en un trabajo desarrollado en Ecuador, aplica técnicas de optimización de rutas en una empresa alimenticia y demuestra reducciones importantes en kilómetros recorridos y tiempos de entrega. Si bien el sector es distinto, la lógica de pasar de rutas empíricas a rutas planificadas es totalmente transferible al caso de una distribuidora de insumos médicos en Guayaquil.

ESTUDIOS APLICADOS EN LOGÍSTICA DE SALUD Y ABASTECIMIENTO HOSPITALARIO

Además de los modelos teóricos, la literatura reciente ofrece varios ejemplos de aplicación en hospitales y cadenas de suministro de salud. Martínez (2023) evalúa el proceso de distribución de medicamentos en un hospital y pone en evidencia que la falta de estandarización y de indicadores hace que las entregas sufran retrasos y errores

frecuentes. Su propuesta incluye rediseñar flujos de trabajo e incorporar métricas de desempeño para monitorear la distribución intrahospitalaria.

En Ecuador, Lescano (2022) estudia el abastecimiento y la distribución de medicamentos en un hospital del IESS en Ambato y demuestra que una mejor coordinación entre farmacia, almacén y unidades de consumo se traduce en menos quiebres de stock y mejores tiempos de respuesta. Cepeda (2023) trabaja con una empresa proveedora de medicamentos e insumos, donde implementa buenas prácticas de recepción, almacenamiento y transporte, y registra mejoras claras en la trazabilidad y en el cumplimiento de requisitos regulatorios.

Desde una óptica más amplia, Sharon (2025) analiza la gestión de insumos para enfermedades crónicas y subraya que, sin datos confiables sobre consumos y tiempos de reposición, es muy difícil garantizar la continuidad de los tratamientos. Del lado de la distribución, Colmenares Carvajal (2024) optimiza la logística de medicamentos en una institución prestadora de servicios de salud y encuentra que la integración entre abastecimiento, almacenamiento y transporte permite reducir significativamente los tiempos de entrega.

Zambrano (2025) revisa las herramientas de optimización utilizadas en procesos logísticos del sector hospitalario y concluye que la programación lineal, las heurísticas de ruteo y las metodologías Lean están presentes en muchos proyectos de mejora, pero que su adopción sigue siendo desigual: mientras algunas instituciones han avanzado hacia una logística sofisticada, otras mantienen esquemas muy básicos y empíricos.

Por otro lado, Carrasquero Ferrer et al. (2024) analizan prácticas de gestión verde de la cadena de suministro en pymes de Guayaquil y señalan que la forma en que se planifican las compras, el transporte y la logística inversa se relaciona no solo con la eficiencia económica, sino también con la percepción de responsabilidad ambiental. Aunque su trabajo no se centra en insumos médicos, sí muestra que en la ciudad existe un interés creciente por profesionalizar y hacer más sostenible la gestión de la cadena de suministro.

SÍNTESIS DE APORTES Y RELACIÓN CON EL PROBLEMA DE ESTUDIO

Mirando en conjunto la literatura revisada, se puede decir que hay tres ideas que sirven como columna vertebral para este proyecto. La primera es que la cadena de suministro en salud es un eslabón crítico del sistema y que la distribución de insumos médicos no puede seguir gestionándose de forma improvisada sin afectar la calidad del servicio (Goodarzian et al., 2025; Ma et al., 2025; Lacayo, 2023).

La segunda idea es que existen herramientas probadas —como el modelo de transporte y los problemas de ruteo de vehículos— que permiten ordenar y optimizar la forma en que se planifican las rutas y se utiliza la flota (Nielsen et al., 2024; Shuaibu et al., 2025; Liu et al., 2025; Soto-Concha et al., 2025). La literatura muestra que, cuando estas herramientas se adaptan a las particularidades de cada organización, se logran reducciones reales en tiempos, distancias y costos, además de un mejor nivel de servicio.

La tercera idea es que, en América Latina y en Ecuador, ya existen experiencias de mejora logística en hospitales, empresas proveedoras y otros sectores, lo que indica que el camino no sólo es teóricamente correcto, sino viable en la práctica (Lescano, 2022; Luna, 2024; Gómez Panimboza, 2025; Benalcázar Paredes, 2023; Colmenares Carvajal, 2024; Zambrano, 2025). En ese sentido, el caso de una empresa distribuidora de insumos médicos en Guayaquil que opera con rutas empíricas y un uso limitado de su flota encaja plenamente en las problemáticas que la literatura invita a abordar.

Sobre esta base, el presente trabajo adopta como eje el uso del modelo de transporte para apoyar la planificación de las rutas y la asignación de centros de distribución a clientes. La intención es pasar de una operación que se apoya casi por completo en la experiencia del personal a un esquema donde las decisiones estén respaldadas por datos y modelos, en línea con las recomendaciones y buenas prácticas identificadas en la literatura reciente.

SOLVER DE EXCEL: DESCRIPCIÓN Y USO EN OPTIMIZACIÓN

Solver es un complemento de Excel diseñado para apoyar la toma de decisiones cuando se quiere encontrar el mejor resultado posible (por ejemplo, el menor costo o la mayor utilidad) modificando un conjunto de celdas, pero respetando restricciones lógicas, técnicas o de capacidad. En términos sencillos, permite formular dentro de una hoja de cálculo problemas típicos de programación lineal, entera o no lineal y obtener la solución óptima sin tener que resolver el modelo manualmente (Microsoft, s. f.-a; Frontline Systems, 2024; Hillier & Lieberman, 2021).

¿PARA QUÉ SIRVE SOLVER?

Solver es una herramienta de optimización utilizada en gestión e ingeniería para apoyar la toma de decisiones relacionadas con la asignación eficiente de recursos limitados. Permite formular y resolver modelos que buscan minimizar costos, maximizar beneficios o alcanzar combinaciones óptimas de variables, respetando restricciones como capacidades, demandas o condiciones de equilibrio. Su aplicación es común en problemas de transporte, producción, inventarios, asignación de recursos y planificación operativa. Gracias a su integración en Excel, Solver resulta especialmente útil para el análisis de problemas de programación lineal y entera en contextos empresariales y académicos de pequeña y mediana escala (Hillier & Lieberman, 2021; Chopra & Meindl, 2023).

ELEMENTOS PRINCIPALES DE SOLVER

Cuando se abre la ventana de Solver en Excel, el usuario debe identificar tres componentes básicos del modelo: la celda objetivo, las celdas de decisión y el conjunto de restricciones. La celda objetivo contiene el indicador que se desea optimizar (costo, utilidad, tiempo, etc.), las celdas de decisión representan las variables que Solver va a modificar, y las restricciones recogen las condiciones que deben cumplirse en el modelo (Hillier & Lieberman, 2021).

La celda objetivo se configura en el campo “Definir objetivo” e indica qué cantidad se quiere maximizar, minimizar o fijar en un valor específico. Según el problema, esta celda puede representar, por ejemplo, el costo total de una red de transporte, la utilidad global de un portafolio de productos o el tiempo total empleado en un conjunto de tareas; Solver ajustará las variables para alcanzar el objetivo elegido (Frontline Systems, 2024).

Las celdas variables, que se señalan en el campo “Cambiano las celdas de variables”, corresponden a las decisiones que el modelo tiene libertad de modificar. En un modelo de transporte, estas celdas indicarían cuánto se envía desde cada origen hacia cada destino; en un modelo de producción, podrían ser las cantidades a fabricar de cada producto y en cada periodo (Hillier & Lieberman, 2021).

La sección de restricciones, denominada “Sujeto a las restricciones”, recoge las condiciones que definen el espacio de soluciones factibles. Allí se especifican, entre otras, las restricciones de oferta (lo máximo que puede salir de cada origen), las restricciones de demanda (lo que debe llegar a cada destino), los límites de capacidad de recursos y las condiciones de no negatividad o integridad de las variables, cuando se requiere que ciertas decisiones sean enteras (Hillier & Lieberman, 2021).

TIPOS DE MODELOS QUE PUEDE RESOLVER SOLVER

Solver puede resolver distintos tipos de modelos de optimización mediante algoritmos que se seleccionan según la estructura del problema. Para modelos de programación lineal, en los que la función objetivo y las restricciones son lineales, se emplea el método Simplex LP, ampliamente utilizado en investigación de operaciones por su eficiencia y confiabilidad.

Cuando el modelo incluye relaciones no lineales suaves entre variables continuas, Solver utiliza el método GRG Nonlinear (Generalized Reduced Gradient), orientado a encontrar soluciones óptimas locales en problemas no lineales, comúnmente aplicados en diseño, ingeniería y finanzas.

Adicionalmente, Solver dispone de un método evolutivo basado en heurísticas y principios de algoritmos genéticos, adecuado para problemas altamente no lineales, no convexos o con dominios complejos, donde los métodos clásicos no resultan efectivos. En aplicaciones logísticas y de transporte, el uso de Simplex LP suele ser la opción más apropiada, dado que estos modelos se formulan de manera lineal y permiten obtener soluciones eficientes con bajo costo computacional (Hillier & Lieberman, 2021; Frontline Systems, 2024).

PASOS BÁSICOS PARA UTILIZAR SOLVER EN UN MODELO DE TRANSPORTE

Para utilizar Solver en un modelo de transporte, el primer paso consiste en estructurar la información en la hoja de cálculo. Los orígenes se ubican en las filas y los destinos en las columnas, mientras que las celdas internas representan las cantidades a transportar. De forma paralela, se define una matriz de costos unitarios y una celda que calcule el costo total mediante la suma del producto entre costos y cantidades transportadas (Hillier & Lieberman, 2021; Chopra & Meindl, 2023).

Una vez organizado el modelo, se activa el complemento Solver desde las opciones de Excel. En la configuración, se define como objetivo la celda del costo total, seleccionando la opción de minimización, y se establecen como variables de decisión las celdas correspondientes a las cantidades a enviar. Posteriormente, se incorporan las restricciones del modelo: cumplimiento de la oferta en cada origen, satisfacción de la demanda en cada destino y no negatividad de las variables (Hillier & Lieberman, 2021).

Finalmente, se selecciona el método de solución Simplex LP, adecuado para modelos de transporte formulados de manera lineal. Al ejecutar Solver, el sistema obtiene una solución factible y óptima; adicionalmente, es posible generar reportes de resultados y sensibilidad que permiten analizar el comportamiento del modelo y apoyar la toma de decisiones logísticas (Chopra & Meindl, 2023).

IMPORTANCIA DE SOLVER PARA LA INGENIERÍA INDUSTRIAL

Para un ingeniero industrial, Solver representa un puente entre los modelos matemáticos estudiados en investigación de operaciones y las aplicaciones reales en la empresa. Al estar integrado en una herramienta tan extendida como Excel, permite formular, resolver y analizar modelos de optimización sin necesidad de recurrir a software especializado de alto costo, lo que facilita su adopción en organizaciones de distinto tamaño (Hillier & Lieberman, 2021; Winston, 2004).

En la práctica, el profesional puede utilizar Solver para diseñar rutas de distribución más eficientes, elaborar planes de producción consistentes con las capacidades disponibles, dimensionar inventarios de forma más precisa y evaluar escenarios de “qué pasaría si” ante cambios en costos, demandas o restricciones operativas. Esto resulta especialmente valioso en contextos donde se deben justificar decisiones con datos cuantitativos y demostrar el impacto económico de diferentes alternativas (Chopra & Meindl, 2016; Hillier & Lieberman, 2021).

En sectores como la distribución de insumos médicos, la logística hospitalaria o la planificación de servicios, la capacidad de modelar la asignación de rutas, recursos y capacidades mediante Solver ofrece una base sólida para proponer mejoras en costo y nivel de servicio. Al combinar la hoja de cálculo como entorno de trabajo con técnicas de optimización, el ingeniero puede presentar soluciones comprensibles para los directivos y, al mismo tiempo, fundamentadas en métodos rigurosos de investigación de operaciones (MacDonald, 1995; Winston, 2004; Hillier & Lieberman, 2021).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA

En este proyecto se aplicará el tipo de investigación cuantitativa, pues nos referimos a un tipo de estudio donde la realidad se analiza a partir de números: tiempos, costos, cantidades, porcentajes, promedios, etc.

En lugar de centrarse tanto en opiniones o relatos, este enfoque busca medir lo que ocurre y demostrarlo con datos.

¿En qué consiste la investigación cuantitativa?

En este tipo de investigación normalmente se hace lo siguiente:

- Se parte de un problema claro y se formulan objetivos o hipótesis muy específicos.
- Se recogen datos que se puedan contar o medir (por ejemplo: cuántos kilómetros, cuánto cuesta, cuántos minutos dura una entrega).
- Luego esos datos se analizan con herramientas estadísticas o modelos matemáticos, para sacar conclusiones.

Levantamiento de información de costos, rutas y demandas.

El primer paso metodológico corresponde al levantamiento exhaustivo de la información del sistema logístico actual de la empresa del sector salud objeto de estudio, localizada en la ciudad de Guayaquil. Esta etapa contempla la recopilación de datos fundamentales tales como:

- Costos unitarios de transporte, asociados a cada ruta existente desde los centros de almacenamiento hacia los puntos de entrega (hospitales, clínicas y centros médicos).
- Rutas actuales utilizadas, incluyendo distancias recorridas, tiempos promedio

de entrega y frecuencias de despacho.

- Demandas específicas de insumos médicos, establecidas por cada destino para el período de análisis.
- Capacidades de oferta disponibles en los almacenes, considerando inventarios y restricciones logísticas.

Para este levantamiento se emplearán principalmente registros internos de la empresa, como órdenes de despacho, facturación de fletes y reportes de inventarios y visitas a los puntos críticos del proceso. Esta fase es esencial, ya que la calidad de los datos recopilados impactará directamente en la precisión del modelo matemático a formular

Formulación del modelo de transporte (restricciones de oferta y demanda, función objetivo).

Con la información recolectada, se procederá a la formulación del modelo matemático del problema de transporte, empleando la técnica de programación lineal. El modelo incluirá:

- **Función objetivo**, que busca minimizar el costo total de distribución, expresado como la sumatoria del producto de los costos unitarios por las cantidades transportadas en cada ruta: la cantidad transportada.

$$\min Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

- **Restricciones de oferta**, que aseguran que la cantidad enviada desde cada almacén no supere su disponibilidad:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i$$

- **Restricciones de demanda**, que garantizan que se satisfaga exactamente la demanda de cada punto de entrega:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j$$

- **Restricciones de no negatividad**, dado que no se pueden enviar cantidades negativas:

$$x_{ij} \geq 0$$

Este modelo permitirá representar matemáticamente la realidad logística de la empresa, facilitando el cálculo de la distribución óptima que minimice los costos totales.

CAPACIDAD DE CARGA DE LA FLOTA

Dato principal para Ecuador: la página de características del Vivaro Panel Van indica una carga útil de 1383 kg. (Opel Ecuador, s. f.).

Soporte adicional: la ficha técnica de Vivaro disponible para descarga en el sitio de Opel Ecuador muestra el valor 1383 en el apartado de capacidades. (Opel Ecuador, s. f.).

ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO A TRATAR

Fuentes y supuestos usados:

El producto analizado corresponde a una solución de cloruro de sodio al 0,9% en presentación comercial de bolsas de 1000 mL, empaquetadas en cajas de 21 unidades, según la información del fabricante Baxter para su línea VIAFLEX® (Baxter, 2023).

Se considera el sobrellenado (overfill) propio de este tipo de envases flexibles. Para bolsas rotuladas como 1000 mL, Baxter reporta un volumen real superior al nominal, con valores que típicamente se sitúan dentro de un rango aproximado de 1030 a 1070 mL, con el fin de garantizar la dosis efectiva durante la administración clínica (Baxter, 2023).

La solución salina al 0,9% presenta una densidad cercana a 1,004–1,005 g/mL a temperatura ambiente ($\approx 20\text{--}25\text{ }^{\circ}\text{C}$), valor aceptado para cálculos logísticos y de transporte en productos farmacéuticos líquidos (CRC Press, 2021).

Desde el punto de vista de composición, una solución de NaCl al 0,9% se define como aquella que contiene 9 g de cloruro de sodio por litro de solución (equivalente a 900 mg por cada 100 mL), conforme a las especificaciones farmacéuticas vigentes para soluciones parenterales isotónicas (USP, 2020).

Cálculo del peso del contenido (solo líquido):

Se usa: $\text{masa} = \text{volumen} \times \text{densidad}$.

1) Masa por bolsa (considerando sobrellenado 1030–1070 mL):

- 1. Límite inferior: $1030\text{ mL} \times 1,0046\text{ g/mL} = 1034,738\text{ g} \approx 1,0347\text{ kg}$
- 2. Límite superior: $1070\text{ mL} \times 1,0046\text{ g/mL} = 1074,922\text{ g} \approx 1,0749\text{ kg}$

2) Masa total del líquido para 21 bolsas:

- 3. Inferior: $21 \times 1,0347\text{ kg} = 21,73\text{ kg}$ (caja de 21 unidades).
- 4. Superior: $21 \times 1,0749\text{ kg} = 22,57\text{ kg}$ (caja de 21 unidades).

Peso total de la caja (líquido + empaque):

Al peso del líquido ($\approx 21,73$ – $22,57$ kg) se suma el cartón y los empaques plásticos (sobre bolsa/overpouch), por lo que en la práctica es razonable esperar un total aproximado de ≈ 23 a 25 kg. El valor exacto puede variar por tipo de bolsa, lote y empaque usado por el proveedor.

CONDICIONES INICIALES DE LA EMPRESA

En la situación actual, la distribuidora de insumos médicos analizada gestiona su distribución con un enfoque mayormente práctico e intuitivo, sustentado en la experiencia del personal más que en una planificación logística formal. En el día a día, la secuencia de entregas se decide de manera reactiva: se atiende primero al cliente más cercano o al que ha indicado una hora límite de recepción. Sin embargo, esta forma de operar no integra de manera completa variables que suelen ser determinantes en el desempeño, como el ordenamiento óptimo de paradas, la agrupación de pedidos por zonas, el análisis conjunto de las ventanas horarias de todos los clientes, la capacidad real de los vehículos y los tiempos de atención requeridos en cada punto. En consecuencia, se observan recorridos poco eficientes, kilómetros adicionales, variaciones marcadas en los tiempos de entrega y una dependencia elevada del juicio individual del personal operativo.

La falta de planificación estructurada también se refleja en la inexistencia de lineamientos estandarizados y de herramientas que respalden la programación diaria. La empresa no dispone de rutas maestras revisadas periódicamente, no aplica una asignación estratégica de zonas de reparto y no utiliza modelos de optimización ni plataformas de gestión del transporte que permitan evaluar alternativas de ruteo y asignación. Esto dificulta prever con precisión la carga de trabajo por vehículo, equilibrar el uso de la flota y sostener un nivel de servicio uniforme para todos los clientes. Además, limita la medición sistemática del desempeño, ya que no se realiza un seguimiento consistente de indicadores como el tiempo promedio de entrega, el costo por pedido, el cumplimiento de horarios comprometidos o la estabilidad de las promesas de servicio.

Paralelamente, la gestión de mantenimiento vehicular no responde a un esquema

preventivo alineado con la criticidad operativa del reparto. La flota está compuesta por tres vehículos, pero solo uno se encuentra en condiciones mecánicas óptimas, principalmente por ser una unidad reciente y por recibir mantenimiento conforme a las recomendaciones del fabricante en un servicio autorizado. Los otros dos vehículos operan con un estado mecánico intermedio debido a mantenimientos ejecutados de forma tardía, postergados por la presión operativa o atendidos únicamente cuando la falla ya es evidente. En la práctica, predomina el mantenimiento correctivo, lo que incrementa el riesgo de fallas en ruta, reduce la disponibilidad efectiva y genera interrupciones no planificadas que afectan la continuidad de las entregas.

Trabajar con una sola unidad en óptimo estado y dos con confiabilidad limitada restringe la capacidad instalada y reduce la flexibilidad para responder ante variaciones de demanda. Una avería inesperada en cualquiera de los vehículos con condición mecánica intermedia puede obligar a reprogramar recorridos sobre la marcha, concentrar la operación en el vehículo más nuevo o suspender entregas específicas, elevando el riesgo de incumplimiento de horarios límite y, en casos críticos, de desabastecimiento en los establecimientos de salud. A esto se suma la ausencia de un plan formal de mantenimiento preventivo con cronogramas, criterios de intervención por kilometraje, historial de fallas y reglas claras para retirar temporalmente una unidad de operación. Esta debilidad impide coordinar paradas de taller con anticipación y agrava el impacto de cada reparación sobre el servicio.

Desde un enfoque de ingeniería industrial, la combinación de ruteo empírico y mantenimiento reactivo configura un sistema logístico con alta variabilidad, menor confiabilidad y uso ineficiente de recursos. Considerando que la distribución de insumos médicos es un proceso crítico para asegurar la continuidad del servicio de salud, operar sin modelos cuantitativos, sin control sistemático de indicadores y sin políticas de mantenimiento definidas incrementa los costos, deteriora el cumplimiento del nivel de servicio y eleva el riesgo operativo asociado a retrasos, reentregas e interrupciones.

Por lo tanto, estas condiciones iniciales respaldan la necesidad de incorporar herramientas formales de planificación de la distribución, como el Modelo de Transporte para mejorar la asignación y reducir costos logísticos, y de implementar un plan de mantenimiento preventivo que incremente la disponibilidad de la flota y

estabilice el desempeño operativo. Con ello, la empresa podría fortalecer su toma de decisiones con base técnica, mejorar la confiabilidad del servicio, disminuir recorridos innecesarios y asegurar entregas oportunas y consistentes a los establecimientos de salud atendidos.

Diagrama ISHIKAWA

Primero se realizó un análisis Causa – Efecto de la empresa objeto de estudio de este proyecto y se obtuvo lo siguiente:



Figura 1. Diagrama de Ishikawa de la empresa

En base al análisis aplicado con el Diagrama de Ishikawa, la empresa distribuidora de insumos médicos en Guayaquil atraviesa un problema logístico que se refleja en costos altos, retrasos y un servicio poco uniforme. La imagen deja ver varias causas que se conectan entre sí:

En la parte de flota y medios, se nota que trabajan con vehículos ya desgastados, con mantenimiento más por “apagar incendios” que preventivo, y con poca disponibilidad de unidades refrigeradas. Esto puede generar fallas, demoras y complicaciones cuando

se requiere mantener cadena de frío.

En cuanto al personal, se evidencian vacíos de capacitación, cierta resistencia a cambios y problemas de coordinación entre turnos. En la práctica, esto suele provocar errores en la preparación o entrega de pedidos, reprocesos y tiempos perdidos por falta de comunicación clara.

Desde el método de trabajo, la planificación parece hacerse de forma empírica, sin rutas definidas ni procedimientos estandarizados. Además, se menciona la ausencia de SOP (Procedimiento Operativo Estándar) y de KPIs (Indicadores Clave de Desempeño), junto con pronósticos débiles, lo que indica que no se controla el desempeño con indicadores y que la operación cambia según la situación del día, elevando costos y variando la calidad del servicio.

En datos y medición, el diagrama apunta a baja trazabilidad y problemas para medir OTIF (A Tiempo y Completo), además de costos no actualizados y un ERP (Sistema de Planificación de Recursos Empresariales) incompleto. Esto significa que no siempre se tiene visibilidad real de lo que ocurre, qué falló, cuánto costó y dónde se pierde tiempo, lo cual limita la toma de decisiones basada en evidencia.

Respecto al entorno, la ciudad añade factores externos como clima con anegamientos, restricciones de acceso, congestión vehicular y peajes. Esto aumenta la variabilidad del recorrido y exige rutas alternativas y una programación más robusta.

Finalmente, en materiales e insumos aparecen pérdidas por mala manipulación, embalaje inadecuado y una demanda clínica cambiante. Todo esto puede causar daños, devoluciones y desajustes entre lo planificado y lo realmente requerido por los clientes.

DEFINICIÓN DE LA POBLACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LA MUESTRA

Población

La población del estudio se entiende como el total de la actividad de distribución de insumos médicos ejecutada por la empresa dentro del periodo analizado, incluyendo los despachos hacia sus clientes del sector salud y las variables operativas que

describen este proceso: demanda atendida, desplazamientos (distancias), costos de transporte y condiciones de recepción del cliente (ventanas horarias y tiempos de servicio).

Unidad de análisis y marco muestral

La unidad de análisis se definió como cada relación origen–destino (centro de distribución → cliente), ya que sobre esa relación se cuantifican los elementos que requiere el Modelo de Transporte:

- Demanda por destino
- Distancia entre origen y destino
- Costo unitario asociado a la ruta
- Restricciones operativas del punto de entrega (ventana de atención y tiempo de servicio).

En consecuencia, el marco muestral se estructuró a partir de la identificación de los clientes objeto de estudio con sus condiciones de atención (Tabla 2), la demanda por cliente (Tabla 4), las distancias estandarizadas por ruta (Tablas 5 y 9) y los costos unitarios calculados desde el costo por kilómetro documentado como supuesto (Tablas 3, 6 y 10 según escenario).

Muestra

La muestra se estableció mediante un muestreo no probabilístico por criterio (intencional), seleccionando puntos de entrega representativos y con información suficiente para construir matrices completas de distancia y costo. De esta forma, el análisis se centró en seis destinos identificados como D1–D6, para los cuales se especifican zona/ubicación, ventana preferente de recepción y tiempo aproximado de atención, parámetros necesarios para describir el servicio en el punto de entrega.

Determinación del tamaño muestral

El tamaño de la muestra (seis destinos) respondió a criterios de factibilidad y

pertinencia técnica: permite representar condiciones operativas diferenciadas (ventanas de mañana y tarde y tiempos de servicio distintos), cubrir variación geográfica en el entorno urbano y, al mismo tiempo, garantizar consistencia matemática para aplicar programación lineal con matrices origen–destino completas. Asimismo, se mantuvo la demanda por cliente como base comparable para el análisis de escenarios, de modo que las diferencias observadas provengan del rediseño de la estructura de distribución y no de cambios en el requerimiento de los clientes.

Procedencia y construcción de los datos de las tablas

Los valores tabulados se compilaron y construyeron por observación de la siguiente manera:

- Las ventanas horarias y los tiempos de servicio se registraron como parámetros operativos por destino (Tabla 2).
- La demanda se incorporó como requerimiento (unidades) por cliente para alimentar las restricciones del modelo (Tabla 4).
- Las distancias origen–destino se estandarizaron mediante Google Maps para asegurar una base homogénea de kilometraje (Tabla 5, y en el escenario con tres centros de distribución, Tabla 9).
- El costo por kilómetro se definió como supuesto operativo junto con parámetros de consumo/recorrido (Tabla 3).
- Los costos unitarios por ruta se calcularon a partir de la distancia y el costo por km, conformando la matriz de costos utilizada por el modelo (Tabla 6).

Consistencia del modelo, supuestos y alcance

Para viabilizar la resolución del problema en Solver bajo la estructura clásica del Modelo de Transporte, se aplicó el criterio de balance (igualar oferta total y demanda total) en el escenario correspondiente, con el fin de asegurar una solución factible y comparable. En paralelo, se reconoce que ciertos parámetros empleados responden a supuestos o aproximaciones operativas dentro del alcance definido, y que el énfasis del análisis se sitúa en los costos variables de transporte representados en las matrices construidas.

Procesamiento de los datos

Para el tratamiento de los datos se empleó Microsoft Excel como herramienta de soporte, ya que permitió organizar la información de forma clara y controlada antes de integrar al modelo. En Excel se consolidaron y ordenaron los registros en tablas (clientes, demanda, distancias y costos), se unificaron formatos y unidades para evitar inconsistencias, y se ejecutaron los cálculos necesarios —como la conversión de distancias a costos unitarios a partir del costo por kilómetro—. Asimismo, se construyeron las matrices origen–destino con una estructura uniforme, lo que facilitó tanto la verificación de los valores como la preparación del archivo para el análisis y la resolución posterior del Modelo de Transporte mediante Solver.

Presentación de datos iniciales

Para el análisis de la propuesta de mejora de las rutas con un solo centro de distribución como actualmente se maneja la empresa y se comparara con 3 centros de distribución para mejoras de tiempo y costo.

También para los cálculos efectuados se usará como capacidad máxima de la flota 1383 kg de peso como máximo que puede llevar el vehículo y el producto son cajas de sueros de 1000 ml con un peso aproximado de 23 Kg.

Puntos de entrega (hospitales) y ventanas horarias

Código	Punto	Zona/Referencia	Ventana preferente	Servicio (min)
D1	Omnihospital	Kennedy Norte	7:30–10:30	25
D2	Clínica Milenium	Detrás WTC (Kennedy)	7:30–10:30	20
D3	Interhospital	Urdesa	7:30–10:30	25
D4	Hospital del Sur (José Mascote)	Centro–Sur	14:00–16:30	30

D5	Instituto del Riñón (Diag. De Prati Sur)	Mall del Sur / Av. 25 de Julio	14:00–16:30	30
D6	Hospital del Guasmo	Guasmo Sur	14:00–16:30	35

Tabla 2. Fuente los autores.

En la Tabla 2 se puede apreciar los clientes de la empresa que serán objeto de estudio, se describe en qué zona se ubica el cliente, en qué horario de entrega prefiere que se le haga la entrega de su pedido y cuanto se demora aproximadamente en recibir el producto.

Supuestos operativos

Variable	Supuesto	Comentario
Vehículo	Furgoneta mediana	Conductor + auxiliar.
Costo por km	USD 0.056/km	El precio del Diesel es de \$2.80 por galón.
Producto	Caja de sueros de 1000 ml	Peso aproximado de 23 Kg.
Capacidad de flota	Furgoneta mediana	Capacidad máxima 1383 Kg o 60 cajas de sueros de 1000 ml aproximadamente.

Tabla 3. Fuente los autores.

En Tabla 3 se obtuvo información de los costos operativos de los vehículos de la empresa, el costo del diésel actual en Ecuador está en \$2.80 por galón, entonces el costo por litro sería de \$0.74. Para fines prácticos se asume que el vehículo consume 1 galón para poder recorrer 50 kilómetros, por lo cual el cálculo quedaría de la siguiente manera:

$$2.80 \frac{\$}{\text{Galon}} \times \frac{1 \text{ Galon}}{50 \text{ Km}} = 0.056 \frac{\$}{\text{Km}}$$

De la misma manera se calcula que la capacidad máxima de cajas de sueros que puede transportar el vehículo es:

$$1383 \text{ kg} \div 23 \frac{\text{Kg}}{\text{caja}} \approx 60 \text{ cajas}$$

Demanda de cada Cliente

Destino	Cajas de sueros
D1	10
D2	10
D3	10
D4	10
D5	10
D6	10

Tabla 4. Fuente los autores.

Para ambos casos se usarán el mismo número de cajas para la demanda de cada cliente como está en la Tabla 4.

CONDICIONES ACTUALES DE LA EMPRESA

Distancias origen→destino (km) para 1 CD

Origen \ Destino	D1 Omnihospital	D2 Milenium	D3 Interhospital	D4 Hosp. Sur	D5 Inst. Riñón	D6 Hosp. Guasmo
CD-Nexus	14	16	21	19	23	28

Tabla 5. Fuente los autores.

Se obtuvieron las distancias en base al aplicativo Google Maps para efecto de este trabajo, como se muestra en la Tabla 5.

Costo unitario para 1 CD

Origen \ Destino	D1	D2	D3	D4	D5	D6

CD- Nexus	0.78	0.90	1.18	1.06	1.29	1.57
----------------------	------	------	------	------	------	------

Tabla 6. Fuente los autores.

En la Tabla 6 se aprecian los costos desde el centro de distribución hacia cada cliente por individual.

RESULTADOS OBTENIDOS PARA UN CD

Como solo hay un centro de distribución se usa una oferta igual a la demanda para que el problema quede balanceado y poder aplicar Solver:

Origen \ Destino	D1	D2	D3	D4	D5	D6	Oferta
CD-Nexus	0.78	0.90	1.18	1.06	1.29	1.57	60
Demanda	10	10	10	10	10	10	60

Tabla 7. Fuente los autores.

Aplicando Solver nos da el siguiente resultado:

Origen \ Destino	D1	D2	D3	D4	D5	D6	Oferta
CD-Nexus	10	10	10	10	10	10	60
Demanda	10	10	10	10	10	10	60

Tabla 8. Fuente los autores.

Esto nos da:

$$Z_{\min} = (10)0.78 + (10)0.90 + (10)1.18 + (10)1.06 + (10)1.29 + (10)1.57$$

$$Z_{\min} = 7.8 + 9 + 11.8 + 10.6 + 12.9 + 15.7$$

$$\mathbf{Z_{\min} = \$67.80}$$

Para el caso de un solo Centro de Distribución.

Para efectos de entrega la empresa se centra en entregar a los clientes que están más cerca al centro de distribución e ir avanzando hacia los clientes más lejanos. Por lo tanto, la ruta quedaría de la siguiente manera:

CD-Nexus→D1→D2→D4→D5→D6→D3

En la Imagen del Anexo 1 se puede apreciar la distancia total recorrida que es de 54,8 Km y el tiempo total de ruta es un valor aproximado de 1 hora con 20 minutos ya que no se está contando el tiempo de la entrega o el tiempo de tráfico o rutas alternas que se deban tomar en el trayecto debido a algún siniestro que se pueda dar y esto incrementa el tiempo de ruta. Tampoco se está considerando el horario de entrega de cada cliente, por lo que eso incrementa también los tiempos de ruta y aumentando así el costo total.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

PROPUESTA DE MEJORA PARA LA EMPRESA

A continuación, presentamos la propuesta de mejora para la empresa en donde se comprobará que la misma tendrá una reducción significativa en el costo de transportación, lo cual conlleva a un desarrollo integral en reducción de tiempos y costos.

Distancias origen→destino (km) para los 3 CD

Origen \ Destino	D1 Omnihospital	D2 Milenium	D3 Interhospital	D4 Hosp. Sur	D5 Inst. Riñón	D6 Hosp. Guasmo
CD- Nexus	14	16	21	19	23	28
CD- Centro	6.3	6.4	6.5	1.2	4.3	9.8
CD- Guasm o	15	16	18	9.9	6.3	1.3

Tabla 9. Fuente los autores

En la Tabla 9. Se puede apreciar la distancia de cada centro de distribución hacia los distintos clientes.

Costo unitario para cada CD

Origen \ Destino	D1	D2	D3	D4	D5	D6
CD- Nexus	0.78	0.90	1.18	1.06	1.29	1.57
CD- Centro	0.35	0.35	0.36	0.06	0.24	0.55

CD- Guasmo	0.84	0.89	1.01	0.55	0.35	0.07
-----------------------	------	------	------	------	------	------

Tabla 10. Fuente los autores

En la Tabla 10 se multiplicó cada valor de la Tabla 9 por 0.056 que es el valor del costo por kilometraje previamente calculado.

Oferta para 3 CD

Centro de distribución	Unidades
CD-Nexus	20
CD-Centro	20
CD-Guasmo	20

Tabla 11. Fuente los autores

En la Tabla 11 se aprecian las unidades de oferta de cada centro de distribución.

Una vez que ya tengamos todos los datos los juntamos para aplicar Solver al problema:

Origen \ Destino	D1	D2	D3	D4	D5	D6	Oferta
CD-Nexus	0.78	0.90	1.18	1.06	1.29	1.57	20
CD-Centro	0.35	0.35	0.36	0.06	0.24	0.55	20
CD- Guasmo	0.84	0.89	1.01	0.55	0.35	0.07	20
Demanda	10	10	10	10	10	10	60

Tabla 12. Fuente los autores

Como el problema está balanceado aplicamos Solver y procedemos a obtener los siguientes resultados:

Origen \ Destino	D1	D2	D3	D4	D5	D6	Oferta
CD-Nexus	10	10	0	0	0	0	20
CD-Centro	0	0	10	10	0	0	20
CD-Guasmo	0	0	0	0	10	10	20
Demanda	10	10	10	10	10	10	60

Tabla 13. Fuente los autores

Interpretación:

- **D1 y D2** se atienden desde **CD–Nexus**, como se aprecia en el Anexo 2, de esta manera se reduce el tiempo de entrega a 19 minutos para estos dos puntos y los kilómetros recorridos a 16,5 Km.
- **D3 y D4** se atienden desde **CD–Centro**, lo podemos apreciar en el Anexo 3, el tiempo de entrega se reduce a 16 minutos y los kilómetros recorridos a 9,4 Km.
- **D5 y D6** se atienden desde **CD–Guasmo**, en el Anexo 4 podemos ver que se reduce el tiempo de entrega a 12 minutos y los kilómetros recorridos a 8,4 Km.

Cálculo del costo mínimo (3 CD)

Con los costos unitarios de Tabla 10, el costo total es:

- Nexus→D1: $10(0.78) = \$7.80$
- Nexus→D2: $10(0.9) = \$9.00$
- Centro→D3: $10(0.36) = \$3.60$
- Centro→D4: $10(0.06) = \$0.60$
- Guasmo→D5: $10(0.35) = \$3.50$

- Guasmo→D6: $10(0.07) = \$0.70$

$$Z_{\min} (3 \text{ CD}) = \$7.80 + \$9.00 + \$3.60 + \$0.60 + \$3.50 + \$0.70 = \$25.20$$

Ahorro y reducción

- **Ahorro:** $\Delta Z = \$67.80 - \$25.20 = \$42.60$

- **Reducción porcentual:** $(42.60 / 67.80) \times 100 = 62.83\%$

EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Análisis numérico de los costos

En el escenario de **un solo centro de distribución (CD–Nexus)**, el **costo mínimo total de transporte** para cubrir una **demanda total de 60 unidades** (10 unidades por cada destino D1–D6) es de **\$67.80**. Este valor se obtiene al asignar toda la demanda desde Nexus hacia cada punto, ya que no existen alternativas de origen en ese caso.

Cuando se trabaja con **tres centros de distribución (Nexus, Centro y Guasmo)**, manteniendo exactamente el mismo nivel de demanda total (60 unidades), el **costo mínimo baja a \$25.20**. Esto ocurre porque el modelo aprovecha los centros que están más cerca de determinados destinos y que, por lo tanto, presentan menores costos unitarios por kilómetro.

La **diferencia entre ambos escenarios** es de **\$42.60** lo que representa una **disminución aproximada del 62.83%** respecto al esquema de un único centro. En términos prácticos, el resultado confirma que la alternativa con **tres centros es claramente más conveniente**, ya que permite enviar desde el origen con menor costo hacia cada destino y distribuir mejor los volúmenes disponibles.

Comportamiento de la capacidad y patrón de envíos

En la red con **tres centros de distribución**, el Solver asigna los destinos priorizando los **costos unitarios más bajos** y respetando la **capacidad disponible** de cada centro (20 unidades por CD). En esta solución óptima se observa lo siguiente:

- **D1 y D2** se abastecen desde **CD–Nexus**, porque para esos destinos los costos de Nexus siguen siendo competitivos dentro del esquema general.
- **D3 y D4** se abastecen desde **CD–Centro**, ya que ahí se encuentran los **menores costos unitarios**, especialmente en D4.
- **D5 y D6** se abastecen desde **CD–Guasmo**, dado que en esos puntos Guasmo presenta los costos más bajos, sobre todo en D6.

Además, la **oferta de cada centro se utiliza por completo (20 unidades en Nexus, 20 en Centro y 20 en Guasmo)**, lo cual indica que, con la demanda planteada (60 unidades), la red queda bien balanceada y no existen capacidades sobrantes dentro de este escenario. En conjunto, el modelo confirma que con tres centros se logra una **especialización por zonas**, donde cada CD atiende los destinos en los que realmente tiene ventaja de costo.

Efectos operativos y en el nivel de servicio

Con solo el CD–Nexus

Cuando toda la operación depende de un único centro, se incrementa el **riesgo operativo**, porque cualquier inconveniente en Nexus (por ejemplo, falta de stock, fallas de vehículo, congestión severa, restricciones de acceso o retrasos internos) afecta directamente a todos los destinos. Además, aunque el modelo no incorpora tiempos ni tráfico, es razonable esperar que algunos recorridos sean menos eficientes, ya que todo parte desde el mismo punto, incluso hacia zonas donde no es el origen más conveniente.

Con tres centros de distribución

Con tres centros, el riesgo se reparte y la operación se vuelve más flexible: si existe un problema en uno de los CDs, el impacto se limita a una parte de los destinos y es más viable reorganizar la distribución. También aumenta la probabilidad de **mejorar tiempos de entrega** y cumplir ventanas horarias, debido a que varios clientes quedan más cerca de al menos un centro de distribución. Adicionalmente, se facilita aplicar políticas diferentes de inventario por zona o criticidad del producto, y en general se obtiene una logística más estable. En resumen, además del ahorro en costos, el modelo con tres centros ofrece mejores condiciones para sostener el nivel de servicio de forma más ordenada.

Alcance y limitaciones del modelo

Las cantidades de oferta y demanda utilizadas se manejan como un **escenario base balanceado** (60 unidades en total), útil para comparar alternativas y entender el comportamiento del sistema; sin embargo, si estos valores cambian de manera importante, la solución óptima también puede variar.

El modelo considera únicamente el **costo variable de transporte por unidad** y no incluye otros componentes relevantes para una decisión final, como:

- costos fijos de operación de cada centro (personal, alquiler, servicios);
- costos asociados al inventario (stock de seguridad, caducidad, rotación);
- límites reales de capacidad de flota, almacenamiento o frecuencia de despacho.

Tampoco se incorporan variables de tiempo, como condiciones de tráfico, distancia máxima por ruta, o ventanas horarias estrictas como restricciones matemáticas. Por esta razón, aunque los resultados son coherentes con un modelo clásico de transporte y sirven para decidir la asignación más conveniente por costo, para una

implementación definitiva se recomienda complementar el análisis con costos fijos, restricciones operativas reales y métricas de servicio.

CONCLUSIÓN

1. Respecto al objetivo general

Se confirma que el Modelo de Transporte, balanceado a una oferta y demanda total de 60 unidades, permite optimizar la red de distribución con un criterio cuantitativo y replicable. Al comparar el escenario de un solo centro (CD–Nexus) frente al de tres centros (CD–Nexus, CD–Centro y CD–Guasmo), el costo mínimo total de transporte se reduce de \$67.80 a \$25.20, lo que significa un ahorro absoluto de **\$42.60** y una reducción relativa del 62.83%. Este resultado evidencia que la descentralización controlada (tres CD) incrementa la eficiencia porque permite que cada destino sea atendido por el origen con mejor desempeño de costo por kilómetro y menor distancia efectiva. Además, el uso de Solver en Excel demuestra ser una herramienta práctica para la empresa, ya que facilita la toma de decisiones con base en datos, sin necesidad de software especializado, manteniendo el modelo listo para recalcularse cuando cambien costos, demanda o distancias.

2. Respecto al objetivo específico 1 (diagnóstico del esquema actual y sus efectos)

En el escenario de un solo centro, la operación queda completamente concentrada en CD–Nexus, lo cual obliga a cubrir todos los destinos aun cuando existan tramos donde Nexus no sea competitivo en costo o distancia. Este enfoque centralizado aumenta el costo total porque no aprovecha ventajas geográficas dentro de la ciudad (especialmente hacia zonas centro-sur y sur). A nivel operativo, depender de un único punto incrementa la vulnerabilidad del sistema: cualquier interrupción (restricción de acceso, congestión, fallas de abastecimiento, indisponibilidad de personal o vehículo) afecta inmediatamente a todos los clientes. En términos de servicio, aunque el modelo no incluye de forma explícita el tráfico o tiempos de entrega, la centralización suele derivar en recorridos más largos y mayor variabilidad del cumplimiento, especialmente cuando existen ventanas horarias diferenciadas por clientes. En síntesis, la situación con un solo CD puede sostenerse, pero es menos eficiente y más expuesta a riesgos logísticos.

3. Respecto al objetivo específico 2 (aplicación del modelo y asignación óptima)

La solución óptima del escenario de tres centros confirma una “especialización por zonas” coherente con la lógica urbana de Guayaquil y con los costos unitarios definidos en el documento. La asignación resultante establece que D1 y D2 se atienden desde CD–Nexus, D3 y D4 desde CD–Centro y D5 y D6 desde CD–Guasmo, manteniendo el balance de oferta (20 por CD) y demanda (10 por destino). Esta distribución no sólo reduce costos; también estandariza la planificación porque reemplaza decisiones empíricas por reglas numéricas claras: cada destino se asigna al centro que ofrece el menor costo unitario dentro de la restricción de capacidad. Esto permite planificar de forma más estable, disminuir recorridos innecesarios y asegurar que la capacidad total sea utilizada inteligentemente sin sobrecargar un solo centro. En consecuencia, el modelo se vuelve una guía operativa que puede actualizarse periódicamente sin perder consistencia.

4. Respecto al objetivo específico 3 (impacto en eficiencia y nivel de servicio)

El escenario optimizado con tres centros genera efectos positivos adicionales más allá del ahorro monetario. La zonificación reduce la distancia promedio por entrega y tiende a simplificar la ejecución diaria, porque cada CD se enfoca en rutas más cercanas y homogéneas. Esto ayuda a disminuir la variabilidad en las entregas, facilita el cumplimiento de ventanas horarias y reduce el desgaste operativo (tiempo de conducción, consumo de combustible, riesgo de retrasos por congestión y fatiga del personal). Asimismo, al dividir la operación en tres puntos, se incrementa la continuidad del servicio: ante un problema localizado en un CD, los demás pueden sostener parte de la demanda o servir como apoyo temporal. Por tanto, el modelo actualizado a 60 unidades evidencia que la empresa no solo puede gastar menos, sino también operar con mayor estabilidad, orden y capacidad de adaptación ante cambios.

RECOMENDACIÓN

1. Con respecto a la conclusión 1 (institucionalizar el modelo por el ahorro alcanzado)

Se recomienda incorporar el Modelo de Transporte como método permanente para la planificación de distribución, manteniendo el balance total en 60 como escenario base y adaptándolo cuando cambien demandas reales. Para implementarlo de forma efectiva, la empresa debería trabajar con una plantilla estándar en Excel que contenga: (a) matriz de distancias, (b) costo por km, (c) matriz de costos unitarios, (d) oferta por CD y demanda por cliente, y (e) bloque de decisiones para Solver. Posteriormente, se sugiere ejecutar una fase piloto (por ejemplo, un mes) comparando los costos reales contra los costos óptimos calculados, identificando desviaciones por tráfico, reprogramaciones o entregas fallidas. La meta es consolidar el ahorro observado, evitando que la planificación vuelva a depender únicamente de criterios empíricos. Adicional, es necesario que se tomen en consideración los costos de construcción de los centros de distribución en el centro y en el sur, también se deben considerar el costo de adquirir nuevo personal para que administre estos centros de distribución y la flota para la entrega de mercadería para así obtener un estimado de los costos totales que conlleva el construir estos centros, que no son objetivos de este proyecto.

2. Con respecto a la conclusión 2 (reducir vulnerabilidad y dependencia de un solo CD)

Se recomienda mantener el esquema de tres centros como estándar operativo por su mayor resiliencia y menor exposición al riesgo logístico. Para reforzar esta resiliencia, la empresa puede definir reglas de contingencia: qué CD asume temporalmente una parte de la demanda si otro CD presenta incidencias (mantenimiento, falta de stock, problemas de acceso). Además, conviene establecer capacidades mínimas operativas por CD (vehículo disponible, personal asignado, stock básico) para evitar cuellos de botella. Aunque el modelo no incluye costos fijos, la recomendación es que la empresa evalúe de forma complementaria los costos de operación de cada CD y determine el

punto óptimo donde el ahorro en transporte compense los costos de sostener tres ubicaciones. Esto permitirá que la decisión sea integral y sostenible.

3. Con respecto a la conclusión 3 (estandarización y actualización de datos sin romper el balance)

Se recomienda crear un procedimiento formal de actualización del modelo (semanal o mensual), asegurando que oferta y demanda permanezcan balanceadas. En la práctica, esto significa que cada vez que cambien los volúmenes, se debe verificar que: la suma de demandas = 60 (o el valor real del periodo) y que la suma de ofertas = esa misma cantidad. Si la demanda crece o disminuye, la plantilla debe permitir ajustar automáticamente la oferta por CD o incluir un origen/destino ficticio (en caso de desbalance) para balancear el problema de forma técnica. Asimismo, se sugiere que las distancias se revisen cuando existan cambios de rutas, cierres viales o reubicación de clientes. Con esto, el modelo se mantiene “vivo” y los resultados conservan validez operativa.

4. Con respecto a la conclusión 4 (control del desempeño y seguimiento del servicio)

Se recomienda implementar un esquema mínimo de control y seguimiento para asegurar que la operación real se alinee con la operación óptima calculada. Como base, se deben registrar al menos: kilómetros recorridos por ruta, combustible estimado, tiempo total de ruta, tiempo por parada, cumplimiento de ventanas horarias y porcentaje de entregas completas. Con esa data, la empresa puede comparar el desempeño real versus el esperado y entender por qué ocurren diferencias (tráfico, reintentos, devoluciones, preparación tardía, etc.). Esto también permite retroalimentar el modelo: si un destino presenta constantemente retrasos, se puede añadir una restricción de ventana horaria o un costo penalizado que refleje el impacto real. En resumen, el control continuo convierte el ahorro calculado en ahorro sostenido y mejora el nivel de servicio de forma medible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ordoñez Díaz, M. S. (2024). *Importance of logistics and supply chain in health services: Literature review*. En 22nd LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology (San José, Costa Rica). Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions (LACCEI).

Ballou, R. H. (2020). *Business logistics/supply chain management: Planning, organizing, and controlling the supply chain* (6th ed.). Pearson Education.

World Health Organization. (2021). *WHO guideline on health supply chain management*. World Health Organization.

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

Ministerio de Salud Pública del Ecuador. (c. 2019–2021). *Recepción, almacenamiento, distribución y transporte de medicamentos, dispositivos médicos y otros bienes estratégicos en la Red Pública Integral de Salud*. Quito: MSP.

Decoexsa. (2024, 4 de diciembre). *La importancia de la logística en la industria de la salud*. Depósitos de Comercio Exterior S.A.

UNIR – Universidad Internacional de La Rioja. (2024, 4 de julio). *Logística sanitaria: qué es y por qué es importante*. UNIR Revista.

Medpass. (2020, 27 de mayo). *La logística hospitalaria es más relevante hoy que ayer*. Revista Medpass, sección Gestión Hospitalaria.

John Snow, Inc. (JSI). (2020). *The supply chain manager's handbook: A practical guide to the management of health commodities* (edición actualizada). Arlington, VA: JSI.

CSCMP. (2024). *SCM Definitions and Glossary of Terms*. Council of Supply Chain Management Professionals.

Encyclopaedia Britannica. (2024). *Linear programming*.

ASCM. (2022). SCOR Digital Standard: Introduction & Information Model. Association for Supply Chain Management. <https://www.ascm.org/> (incluye SCOR v12 y SCOR DS).

SAP. (2024, Aug 8). What is Vendor Managed Inventory (VMI)? <https://www.sap.com/>

Boniol, M., Kunjumen, T., Nair, T. S., Siyam, A., Campbell, J., & Williams, D. (2022). The global health workforce stock and distribution in 2020 and 2030: A threat to equity and “universal” health coverage? *BMJ Global Health*, 7(6), e009316.

Giansanti, D. (2024). Exploring the intersection of digital health and AI in precision medicine. *Zoonoses*, 4(1), e00045.

Hu, S. (2025). Digital health: Current applications, challenges, and future directions. *Frontiers in Public Health*, 13, 1646802.

Institute for Health Metrics and Evaluation. (2024). Financing global health 2023. IHME.

Kekulandara, D. N., et al. (2024). Knowledge and attitudes towards genomic medicine and pharmacogenomics. *BMC Medical Genomics*, 17, 45.

Kurowski, C., et al. (2024). Government health spending trends through 2023. The World Bank.

Luciani, S., et al. (2023). Noncommunicable diseases in the Americas. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 47, e132.

Organización de las Naciones Unidas. (2024). World population ageing 2023: Challenges and opportunities of population ageing in the least developed countries. ONU.

Organización Mundial de la Salud. (2020). Constitution of the World Health Organization. OMS.

Organización Mundial de la Salud. (2020). COVID-19 strategic preparedness and response plan. OMS.

Organización Mundial de la Salud. (2021). Global strategy on digital health 2020–2025. OMS.

Organización Mundial de la Salud. (2022). The global health workforce stock and distribution. OMS.

Organización Mundial de la Salud. (2023a). Antimicrobial resistance: Fact sheet. OMS.

Organización Mundial de la Salud. (2024a). Global spending on health: Emerging from the pandemic 2024. OMS.

Organización Mundial de la Salud. (2024b). HIV/AIDS: Fact sheet. OMS.

Organización Mundial de la Salud. (2024c). World malaria report 2024. OMS.

Organización Mundial de la Salud. (2024d). Global tuberculosis report 2024. OMS.

Organización Mundial de la Salud. (2025a). Noncommunicable diseases: Key facts. OMS.

Organización Mundial de la Salud & Banco Mundial. (2023). Tracking universal health coverage: 2023 global monitoring report. OMS/Banco Mundial.

Organización Panamericana de la Salud. (2025). The health workforce in the Americas: Regional data and indicators. OPS.

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2025). Smart spending to combat global health threats. OCDE.

Prabowo, A., et al. (2025). Artificial intelligence in healthcare: Trends and challenges. *International Journal of Medical Informatics*, 190, 105031.

Sida. (2023). Health system strengthening: An essential part of universal health coverage. Swedish International Development Cooperation Agency.

Summers, L. H., et al. (2025). A new global financing framework for pandemic preparedness and response. *The Lancet Global Health*, 13(1), e10–e18.

Frontline Systems. (2024). Analytic Solver and Excel Solver overview. Frontline Systems. <https://www.solver.com/>

Organización Mundial de la Salud. (2021). Public health functions to be exercised by national health authorities. OMS. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240029680>

Organización Mundial de la Salud. (2022). *Genomics and world health: Report of the Advisory Committee on Health Research*. OMS. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240044034>

Kekulandara, D. S., Sirisena, N. D., Dissanayake, V. H. W., & Jayasekara, R. W. (2024). Precision medicine: Current applications, challenges and future perspectives. *Journal of Personalized Medicine*, 14(2), 156. <https://doi.org/10.3390/jpm14020156>

Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., & Simchi-Levi, E. (2021). *Designing and managing the supply chain: Concepts, strategies, and case studies* (4th ed.). McGraw-Hill Education.

García-Arca, J., Prado-Prado, J. C., & Fernández-González, A. J. (2020). Integrating KPIs for improving efficiency in road transport logistics: A case study of the milk run system. *Sustainability*, 12(8), 3150. <https://doi.org/10.3390/su12083150>

Rodrigue, J.-P., Comtois, C., & Slack, B. (2020). *The geography of transport systems* (5th ed.). Routledge.

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

Jacobs, F. R., & Chase, R. B. (2021). *Operations and supply chain management* (16th ed.). McGraw-Hill Education.

Govindan, K., Mina, H., & Alavi, B. (2020). A decision support system for demand management in healthcare supply chains considering the VMI approach. *International*

Journal of Production Economics, 222, 107490.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.09.004>

Attaran, M., & Attaran, S. (2020). Collaborative supply chain management: The most promising practice for building competitive advantages. *Business Process Management Journal*, 26(6), 1541–1560. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-12-2019-0503>

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

Alumur, S. A., Nickel, S., Saldanha-da-Gama, F., & Seçer, Y. (2021). Hub location problems: A review of models, classification, and applications. *European Journal of Operational Research*, 292(1), 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.10.031>

Farahani, R. Z., Hekmatfar, M., Arabani, A. B., & Nikbakhsh, E. (2020). Hub location problems: A review of models, classification, solution techniques, and applications. *Computers & Industrial Engineering*, 144, 106444. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106444>

Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2021). *Introduction to operations research* (11th ed.). McGraw-Hill Education.

Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., & Simchi-Levi, E. (2021). *Designing and managing the supply chain: Concepts, strategies, and case studies* (4th ed.). McGraw-Hill Education.

Taha, H. A. (2022). *Operations research: An introduction* (10th ed.). Pearson Education.

Bertsekas, D. P. (2021). *Network optimization: Continuous and discrete models* (2nd ed.). Athena Scientific.

Baxter Healthcare Corporation. (2023). *VIAFLEX® intravenous solution containers: Product information*. Baxter.

CRC Press. (2021). *CRC handbook of chemistry and physics* (102nd ed.). CRC Press.

United States Pharmacopeia (USP). (2020). *USP–NF: General chapters and monographs*. United States Pharmacopeial Convention.

Opel Ecuador. (s. f.). Ficha técnica Vivaro [PDF]. Recuperado el 5 de diciembre de 2025, de <https://www.opel.com.ec/content/dam/opel/ecuador/catalogos/ficha-tecnica-2022/mayo/Ficha-tecnica-VIVARO.pdf>

Vauxhall. (2024, 1 de diciembre). New Vivaro Model Year 2025A: Price & specification guide (Prices/Weights) [PDF]. https://www.vauxhall.co.uk/content/dam/vauxhall/Home/PDFs/Vans/vivaro/price-guides/New_Vivaro_MY25_PSG_1_December_Library.pdf

DailyMed. (s. f.). 0.9% Sodium Chloride Injection, USP. National Library of Medicine. Recuperado el 5 de diciembre de 2025, de <https://dailymed.nlm.nih.gov/dailymed/fda/fdaDrugXsl.cfm?setid=c1e52670-c85e-4f19-a2e9-bf9abd7c3727>

Farmacias Sinai. (s. f.). SOLUCIÓN ISOTÓNICA 0.9% 1000 ML X 21 UND BAXTER [Página de producto]. Recuperado el 5 de diciembre de 2025, de <https://www.farmaciassinai.com/Productos/Detalle/catid/49386/eid/103678/solucion-isotonica-0-9-1000-ml-x-21-und-baxter>

ANEXOS

Anexo 1: Ruta de entregas para un solo Centro de distribución.

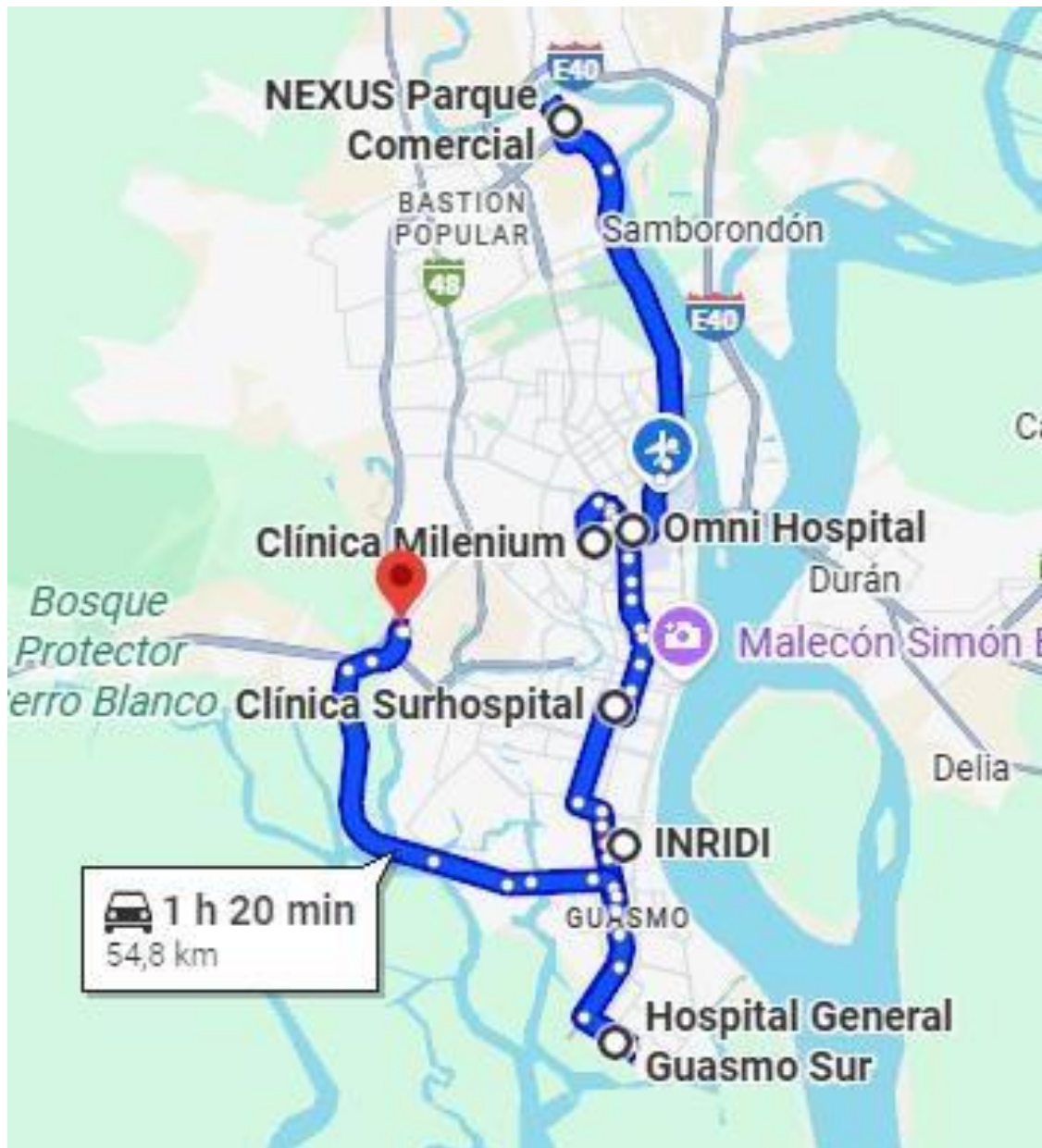


Figura 2. Ruta de entregas con un solo CD

Anexo 2. Puntos de entrega para la ruta Norte.

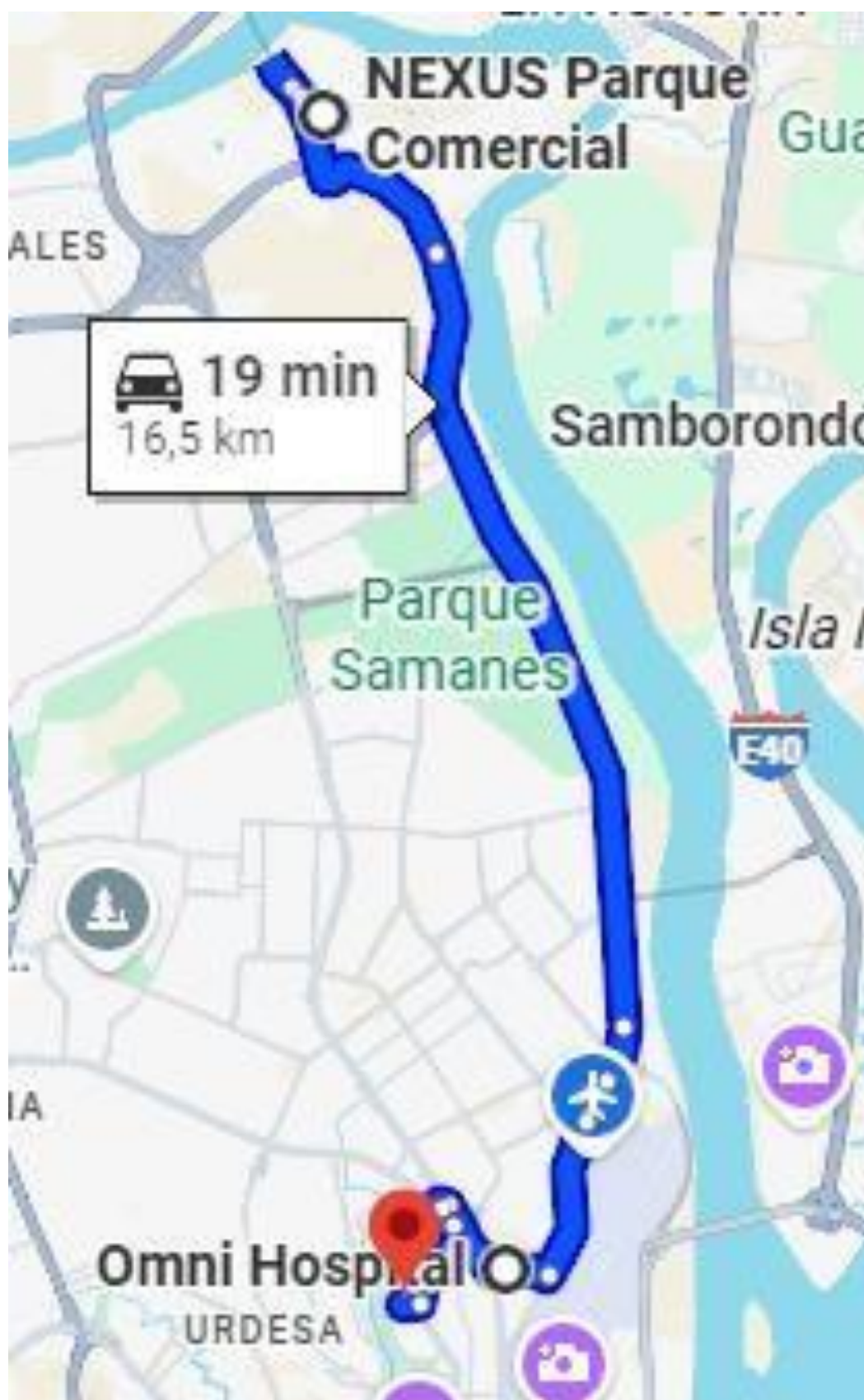


Figura 3. CD-Nexus hacia D1 y D2.

Anexo 3. Puntos de entrega ruta Centro.

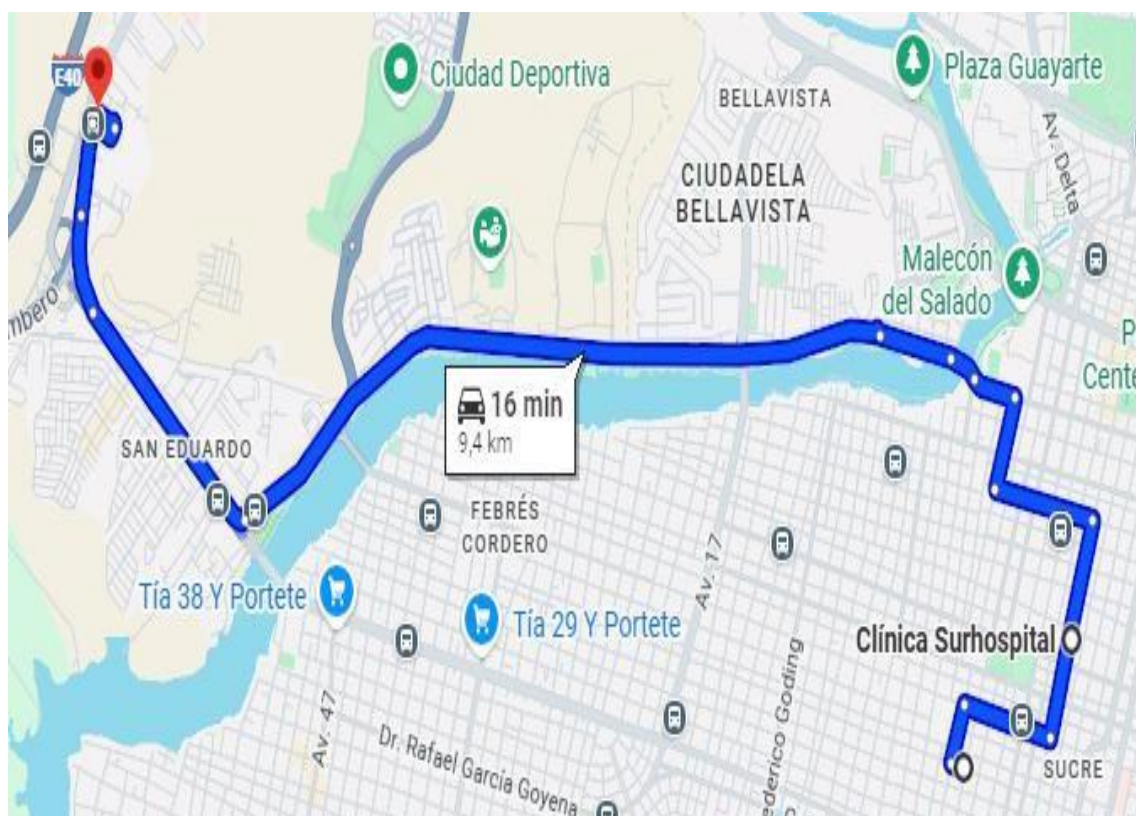


Figura 4. CD-Centro hacia D3 y D4.

Anexo 4. Puntos de entrega ruta Sur.

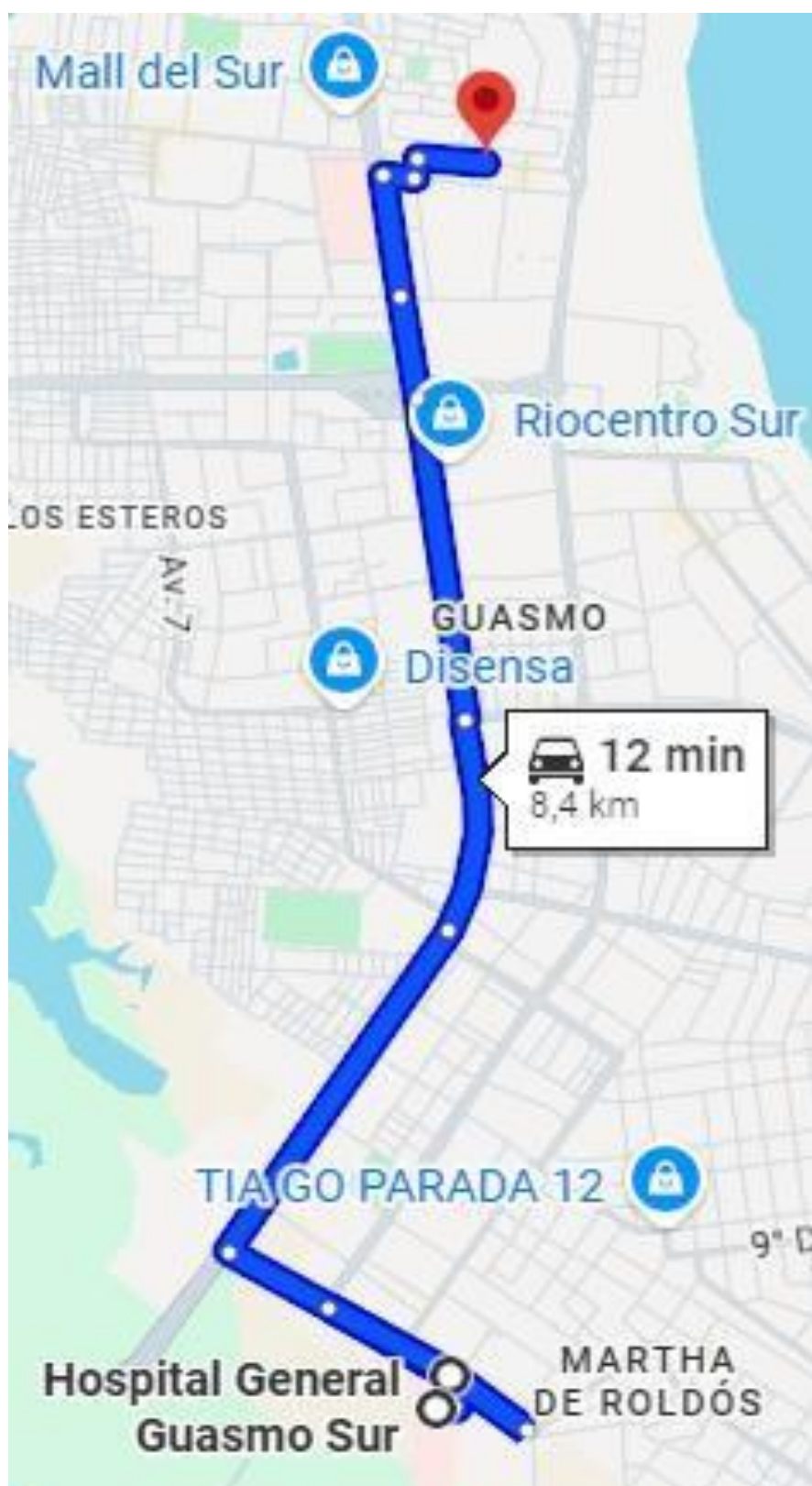


Figura 5. CD-Sur hacia D5 y D6.