



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

PROPUESTA DE LA CONFIGURACIÓN DE LA RED
LOGÍSTICA DE PRODUCTOS FARMACEÚTICOS
BAJO LOS CRITERIOS DE COSTOS Y TIEMPOS
DE RESPUESTA

Iván Darío López Castillo

Universidad Nacional de Colombia- Sede Bogotá

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería de Sistemas e
Industrial

Bogotá, Colombia

2021

PROPUESTA DE LA CONFIGURACIÓN DE LA RED LOGÍSTICA DE PRODUCTOS FARMACEÚTICOS BAJO LOS CRITERIOS DE COSTOS Y TIEMPOS DE RESPUESTA

Iván Darío López Castillo

Trabajo Final de Maestría presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ingeniería - Ingeniería Industrial

Director:

Msc. Juan Pablo Castrellón Torres

Línea de Investigación:

Investigación de Operaciones – Supply Chain Management

Universidad Nacional de Colombia –Sede Bogotá

Facultad de Ingeniería, Departamento de Sistemas e Industrial

Bogotá, Colombia 2021

A Dios y mi familia; porque siempre han estado conmigo en las buenas y en las malas.

Agradecimientos

En este espacio deseo extender mis agradecimientos a:

- A mi familia por ser el pilar y motor de vida; que me hace ser cada vez mejor.
- La Universidad Nacional de Colombia, profesores y director de trabajo de grado, por permitirme continuar con mi formación profesional y personal.
- La empresa de caso de estudio, la cual me brindó los mecanismos para lograr este trabajo.

Resumen

La gestión de la cadena de abastecimiento principalmente se enfoca en alinear cada uno de los actores que la componen con el objetivo de maximizar el valor generado entre el costo del producto o servicio y su precio de venta, satisfaciendo así las necesidades de los clientes; sin embargo, en algunos sectores como el farmacéutico, este objetivo se orienta más hacia la maximización del valor para el cliente, ya que los productos farmacéuticos están relacionados en un 100% con la salud y el bienestar de las personas. Actualmente, la competitividad de los mercados está dada por la eficiencia de las cadenas de suministro y no por los productos directamente, por tanto, el diseño de la cadena de suministro tiene un alto grado de relevancia e importancia, siendo este un criterio decisivo a la hora de continuar en un mercado cada vez más competitivo.

El desarrollo de este ejercicio se enfoca en determinar cuál debe ser la configuración de la cadena de suministro de productos farmacéuticos desde un enfoque de red saliente, tomando como caso de estudio un actor del sector farmacéutico colombiano, iniciando con un proceso de caracterización del modelo actual de abastecimiento, posteriormente se propone la configuración de red de abastecimiento identificando las posibles locaciones de las plataformas de abastecimiento que integran la red y se realiza la estructuración de costos fijos y variables asociados a la apertura de plataformas, el envío de producto desde plataformas a droguerías y el suministro del producto. Teniendo en cuenta la configuración de la red y los costos asociados, se desarrolló un modelo matemático para establecer las posibles configuraciones de red de abastecimiento en función de tiempo y costos. Este modelo es implementado por una herramienta computacional, generando como resultado una serie de configuraciones en función de los tiempos máximos de envío de la red que resultan ser óptimos bajo el objetivo de minimizar los costos totales. Por último, se propondrán recomendaciones en función de decisiones de tipo operativo, táctico y estratégico, las cuales podrán ser implementadas en corto, mediano y largo plazo, ya que, bajo los modelos propuestos, en el corto plazo se podrán proponer reducciones del 5% en los costos logísticos totales, en el mediano plazo, el servicio podrá optimizarse disminuyendo los tiempos de entrega de la red en un 6,5%, permitiendo no aumentar los costos totales.

Palabras Claves: Diseño de cadena de suministro, centros de abastecimiento y distribución, modo de transporte, tiempos de entrega, costos logísticos.

Abstract

Supply chain management mainly focuses on aligning each of its actors with the objective of maximizing the value generated between the cost of the product or service and its sale price while satisfying customers' needs. However, in some sectors, such as pharmaceuticals, this objective is more oriented towards maximizing customer value since pharmaceutical products are 100% related to people's health and well-being. Currently, market competitiveness is determined by supply chain efficiency and not directly by products. Therefore, supply chain design has a high degree of relevance and importance, this being a decisive criterion when it comes to continuing in an increasingly competitive market.

The development of this exercise focuses on determining what the supply chain configuration of pharmaceutical products should be from an outgoing network approach, while taking as a case study an actor from the Colombian pharmaceutical sector. This study will start with a characterization process of the current supply chain model. It will subsequently propose the supply chain configuration by identifying possible locations of the supply platforms that make up the network and the structuring of fixed and variable costs associated with the opening of these platforms, the shipment of product from platforms to drugstores and product supply. Taking into account the network configuration and associated costs, a mathematical model was developed to establish the possible supply chain network configurations based on time and costs. This model is implemented by a computational tool, resulting in a series of configurations based on the maximum network sending times that are optimal under the objective of minimizing total costs.

Finally, recommendations will be proposed based on operational, tactical, and strategic decisions, which may be implemented in the short, medium, and long term. Under the proposed models, reductions of 5% may be proposed in the short term regarding total logistics costs. While in the medium term, the service can be optimized by reducing network delivery times by 6.5%, thus allowing no increase in total costs.

Key Words: Supply Chain Network Design, SCND, Distribution Centers, Mode of transport, Lead time, Logistics Costs.

Este Trabajo Final de maestría fue calificado en abril de 2021 por los siguientes evaluadores:

Jair Eduardo Rocha González Phd.

Profesor Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de Colombia

Wilson Adarme Jaimes Phd.

Profesor Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de Colombia

Contenido

Resumen.....	v
Abstract.....	vi
Lista de Figuras.....	xii
Lista de Tablas.....	xiii
Introducción.....	1
1. Generalidades de la Investigación.....	8
1.1. Problemática y relevancia de la investigación	8
1.2. Objetivos Generales y Objetivos Específicos	11
1.2.1. Objeto Principal.....	11
1.2.2. Objetivos Específicos.....	11
2. Metodología	12
2.1. Fase Exploratoria	13
2.2. Fase Propositiva	15
3. Marco Teórico	19
3.1. Gestión de la Cadena de Suministro	19
3.1.1. Diseño de la red de abastecimiento.	20
4. Estado del Arte.....	22
4.1. Gestión de la Cadena de Suministro en productos farmacéuticos.....	22
4.2. Criterios de diseño de la Red de abastecimiento.....	24
4.3. Aplicación Diseño de Redes de Abastecimiento.....	28
5. Fase Exploratoria.....	32
5.1. Caracterización de la red de abastecimiento.....	32
5.1.1. Configuración de la red de abastecimiento.....	32
5.1.2. Identificación de Actores de la red de abastecimiento.....	33

5.1.3.	Identificación de tipo de producto, características y condiciones.....	37
5.1.4.	Identificación de medios y modos de transporte.....	37
5.2.	Análisis de información y datos.....	38
5.3.	Caso Base	40
5.4.	Oportunidades de Mejora.....	42
6.	Fase Propositiva	44
6.1.	Propuesta configuración de la red de abastecimiento.....	45
6.2.	Determinación de las posibles Plataformas de Abastecimiento.....	47
6.3.	Estructura de Costos.....	50
6.3.1.	Costos Fijos	53
6.3.1.1.	Arrendamiento metros cuadrados de almacenamiento.....	53
6.3.1.2.	Adecuaciones civiles e infraestructura.....	54
6.3.1.3.	Otros conceptos.....	55
6.3.1.4.	Costo Fijo total	56
6.3.2.	Costos Variables.....	57
6.3.2.1.	Posiciones de almacenamiento.....	57
6.3.2.2.	Dotaciones.....	58
6.3.2.3.	Estructura de Personal.....	58
6.3.2.4.	Distribución de Costos Variables.....	59
6.3.3.	Costo de enviar.....	60
6.3.3.1.	Viabilidad de los arcos de envío.....	60
6.3.3.2.	Costo de envío por tipo de modelo de transporte.....	62
6.3.4.	Costo Suministrar.....	65
6.3.4.1.	Viabilidad de los arcos de suministro.....	65
6.3.4.2.	Costo de suministro por tipo de modelo de transporte.....	67
6.4.	Modelo de Optimización.....	68

6.4.1.	Descripción Modelo de Optimización	68
6.4.1.1.	Indices	68
6.4.1.2.	Parámetros	69
6.4.1.3.	Variables	69
6.4.1.4.	Función Objetivo 1 (Minimizar Costos)	70
6.4.1.5.	Función Objetivo 2 (Minimizar Lead Time)	74
6.4.2.	Ejecución Modelo de Optimización.....	78
6.4.2.1.	Optimización en función de costos	79
6.4.2.2.	Optimización en función de tiempo	82
6.4.2.3.	Análisis de escenarios diseño red de distribución	87
6.4.2.4.	Análisis Caso Base	96
7.	Recomendaciones.....	97
8.	Conclusiones.....	102
	Bibliografía	105
	ANEXO A: Metodología para el diseño de plataformas de Abastecimiento y distribución.....	110
1.	Capacidad estimada para cada plataforma de abastecimiento.	116
2.	Posiciones de Almacenamiento requeridas.	117
3.	Metros cuadrados requeridos	120
3.1.	Metros cuadrados de almacenamiento requeridos.....	120
3.2.	Metros cuadrados requeridos proceso de Recepción de Mercancías.	122
3.3.	Metros cuadrados requeridos proceso de Salida de mercancías.	123
3.4.	Metros cuadrados requeridos otros procesos.	127
3.5.	Metros cuadrados totales por plataforma.	128
4.	Estructura de Personal.	129
5.	Dotaciones.....	130
6.	Adecuaciones civiles e infraestructura	133

7. Otros conceptos.....	133
ANEXO B: Optimización posibles escenarios.....	135
ANEXO C: Revisión Bibliográfica - Aplicación diseño de redes de abastecimiento.	137
ANEXO D: Lista de anexos externos.....	140

Lista de Figuras

Figura 1: Actores Claves - Industria Farmacéutica.(Castrillón R, 2018).....	1
Figura 2: Top 10 Causas de Muerte en Colombia, 2017 (Emis & Industry, 2020).....	2
Figura 3: Número de afiliados(millones) al Sistema de Salud por departamento y régimen (Subsidiado y No Subsidiado) Cierre 2019. (Emis & Industry, 2020)	3
Figura 4: Mercado de Medicamentos en Colombia. Adaptado (Vásquez et al., 2010)	5
Figura 5: Causales de desabastecimiento de Medicamentos en Colombia 2013-2018.(INVIMA (Instituto de Vigilancia de Medicamentos y alimentos), 2018).....	8
Figura 6: Diseños de Investigación alternativos.(Creswell, 2008)	12
Figura 7:Estructura Metodológica.	13
Figura 8:Estructuración estudio bibliométrico	14
Figura 9: Etapas de desarrollo - Fase Propositiva.	17
Figura 10: Diagrama conceptual - Gestión de la Cadena de Suministro (Elaboración Propia)..	19
Figura 11: Diagrama conceptual - Red de abastecimiento. (BALLOU, 2004)	20
Figura 12: (Ghaderi, Pishvaeae,& Moini, 2016) Enfoques, Diseño de Redes de Suministro.....	24
Figura 13: Configuración conceptual red de abastecimiento caso base (Elaboración Propia) ...	32
Figura 14: Distribución establecimientos farmacéuticos a Nivel Nacional (elaboración propia)..	33
Figura 15:Tiempos de entregas de Proveedor a Centros de Abastecimiento	34
Figura 16: Histograma - Determinar rango de volumetría de los productos.	38
Figura 17: Distribución de establecimientos Farmacéuticos por Tiempos de Entrega	43
Figura 18:Propuesta configuración red de abastecimiento para productos farmacéuticos (elaboración propia)	45
Figura 19: Optimización modelo menor costo.....	79
Figura 20: Optimización modelo menor tiempo de entrega.....	82
Figura 21: Comportamiento Costo de abrir por modelo.	94
Figura 22: Comportamiento Costo de mantener el inventario por Modelo.	94
Figura 23: Comportamiento costo de enviar por modelo.	95
Figura 24: Comportamiento Costo de suministrar por modelo.	95
Figura 25: Comparación Costo total versus Tiempos de entrega por modelo.....	96
Figura 26: Costo logístico Caso Base vs Modelos Propuestos.	96
Figura 27: Dimensiones montacarga eléctrica Jungheinrich ETM 214.....	121

Lista de Tablas

Tabla 1: Distribución Sistema de Salud Colombiano Cierre 2019 (Emis & Industry, 2020)	3
Tabla 2: Fase Exploratoria (Actividades y Herramientas)	14
Tabla 3: Fase Propositiva (Actividades y Herramientas).....	17
Tabla 4: Revisión Bibliográfica - Aplicación diseño de redes de abastecimiento, enfoque de diseño. (Elaboración Propia)	30
Tabla 5: Análisis revisión bibliográfica.	30
Tabla 6: Tiempos de entregas de Proveedor a Centros de Abastecimiento.....	34
Tabla 7: Tipos de Medicamentos definidos en función a su volumetría cm3.....	39
Tabla 8: Tipos de Medicamentos definidos en función a características especiales (Cadena de Frio - Alto Costo)	39
Tabla 9: Demanda consolidada por tipo de medicamento.	39
Tabla 10:Centros de abastecimiento - Caso Base.....	40
Tabla 11: Configuración red logística - Caso Base	41
Tabla 12: Costo total Caso Base.	42
Tabla 13: Procesos logísticos por plataforma de abastecimiento.	46
Tabla 14: Propuesta de plataformas de abastecimiento por Ciudad / Municipio	48
Tabla 15: Costos fijos y Costos Variables - Plataformas de abastecimiento	50
Tabla 16: Costo de Envío y Suministro - Plataformas de abastecimiento	51
Tabla 17: Índices y Variables – Estructura de Costos.....	53
Tabla 18: Costo de arrendamiento por metro cuadrado.....	54
Tabla 19: Valor de referencia - obra civil por metro cuadrado.....	55
Tabla 20: Valor de referencia por tipo de servicio.....	55
Tabla 21: Costo fijo - costo de abrir la plataforma i.....	57
Tabla 22: Costo unitario - posiciones de almacenamiento.....	58
Tabla 23: Costo unitario - dotaciones.	58
Tabla 24: Tabla de salarios estimada.....	59
Tabla 25: Formulación matemática - distribución costos Variables.....	59
Tabla 26:Viabilidad de arcos de abastecimiento.....	62
Tabla 27: Estimado de unidades máxima por vehículo.....	63
Tabla 28:Viabilidad de arcos de suministro	67

Tabla 29: Plataformas logísticas abiertas - Modelo 1.	80
Tabla 30: Configuración red de abastecimiento Modelo 1.	81
Tabla 31: Costo total – Tiempo de Entrega Modelo 1.....	81
Tabla 32: Plataformas logísticas abiertas - Modelo 2.	83
Tabla 33: Configuración red de abastecimiento Modelo 2.	86
Tabla 34: Costo total – Tiempo de Entrega Modelo 2.....	86
Tabla 35: Plataformas logísticas abiertas – posibles escenarios.	88
Tabla 36: Centros de abastecimientos y suministros - posibles escenarios.....	89
Tabla 37: Medio de transporte de abastecimientos - posibles escenarios.	90
Tabla 38: Nivel de ocupación plataformas logísticas por escenario.	92
Tabla 39: Costo total por escenario (Modelos de Optimización)	94
Tabla 40: Listado de arcos a cambiar modo de envío - Caso Base.	97
Tabla 41: Costo total Caso base - Recomendación Operativa.....	98
Tabla 42: Metodología de diseño plataformas de abastecimiento (Elaboración Propia).	99
Tabla 43: Plataformas Abiertas - Modelo LT: 11.5.....	99
Tabla 44: Configuración Red de abastecimiento Modelo LT:11.5.....	101
Tabla 45: Costos Totales - Modelo LT: 11.5	101
Tabla 46: Costos Totales - Modelo LT: 7.25	101
Tabla 47: Metodología de diseño plataformas de abastecimiento (Elaboración Propia)	112
Tabla 48: Índices y Variables - Diseño plataformas de abastecimiento.	115
Tabla 49: Demanda estimada a atender desde cada Plataforma de Abastecimiento con política de inventario.....	116
Tabla 50: Tipo de estantería y capacidades de almacenamiento.	118
Tabla 51: Configuración estantería Liviana.....	120
Tabla 52: Configuración estantería pesada	120
Tabla 53: Espacio requerido por tipo de configuración de estantería.....	121
Tabla 54: Formulación matemática - Cálculo metros cuadrados de almacenamiento.....	122
Tabla 55: Formulación matemática - Cálculo metros cuadrados proceso de recepción de mercancías.....	123
Tabla 56: Contenedores de empaque y sus capacidades de almacenamiento.....	125
Tabla 57: Relación tipo de medicamento – embalaje	125

Tabla 58: Formulación matemática - Cálculo número total de posición de estiba a piso, proceso de salida de mercancías..... 126

Tabla 59: Formulación matemática - Cálculo metros cuadrados proceso de salida de mercancías. 127

Tabla 60: Formulación matemática - Cálculo metros cuadrados otros procesos. 128

Tabla 61: Cargos y funciones principales. 129

Tabla 62: Formulación matemática - Cálculo Estructura de Personal..... 130

Tabla 63: Simulación salida de contenedores. 131

Tabla 64: Simulación Retorno de Contenedores 131

Tabla 65:Formulación matemática - Cálculo dotaciones..... 133

Tabla 66: Formulación matemática - Calculo otros conceptos..... 134

Tabla 67: Optimización, posibles escenarios diseño red de distribución..... 136

Tabla 68: Revisión Bibliográfica - Aplicación diseño de redes de abastecimiento. (Elaboración Propia) 139

Introducción

En el mercado farmacéutico de América Latina, Colombia se posicionó en cuarto lugar en términos de volumen de ventas para el cierre del 2018 con una población representativa y en crecimiento. El país cuenta con un sistema de seguridad social que se basa en la eficiencia, la universalidad y la solidaridad, sin embargo, existe una crisis latente debido a los fondos insuficientes y un pequeño mercado de salud privado en rápido desarrollo. La industria farmacéutica local se concentra en la producción de medicamentos genéricos y el resto de los segmentos se abastecen a través de importaciones por parte de empresas farmacéuticas de talla mundial.(Emis & Industry, 2020)

La cadena de valor para los productos farmacéuticos se caracteriza por la participación de laboratorios nacionales y filiales de laboratorios transnacionales los cuales superan los 300 laboratorios. Dentro de los actores claves de la cadena de valor se encuentran los Centros de Investigación y Desarrollo, Productores Farmacéuticos, Proveedores de Maquilas - Empaques y los Comercializadores Finales en las cuales encontramos las IPS, EPS, Distribuidores, Visitadores Médicos, Grandes Superficies, Droguerías.(Castrillón R, 2018)



Figura 1: Actores Claves - Industria Farmacéutica.(Castrillón R, 2018)

Para el 2018 el gasto total de salud en Colombia fue de \$69.6 billones, teniendo un aumento del 4.7% con respecto al año anterior, de los cuales del 73.5% (\$51,2 billones) pertenece a gasto público y el 26,5% a gasto en salud proveniente del sector privado. En general Colombia gastó el 7,1% de su PIB en temas de atención médica. (Emis & Industry, 2020)

Con una edad promedio de 31,3 años en 2018 (por encima del promedio de 30,4 años para la región de América Latina y el Caribe), la población de Colombia está envejeciendo a un ritmo acelerado. De manera significativa, el porcentaje de la población de 65 años o más aumentó de 6.5% en 2013 a 8% en 2018, según la OPS(Emis & Industry, 2020). La aceleración del proceso de envejecimiento en los últimos años se debe en gran medida a un descenso de la tasa bruta de natalidad por cada 1.000 personas, que pasó del 16,1% en 2013 a 14,8% en 2018; las principales causas de muerte asociadas a factores de salud de la población Colombiana está dada en especial por enfermedades cardiacas, derrame cerebral, violencia Interpersonal, alzhéimer, enfermedades espiratorias, fallas en los riñones, entre otras(Emis & Industry, 2020)

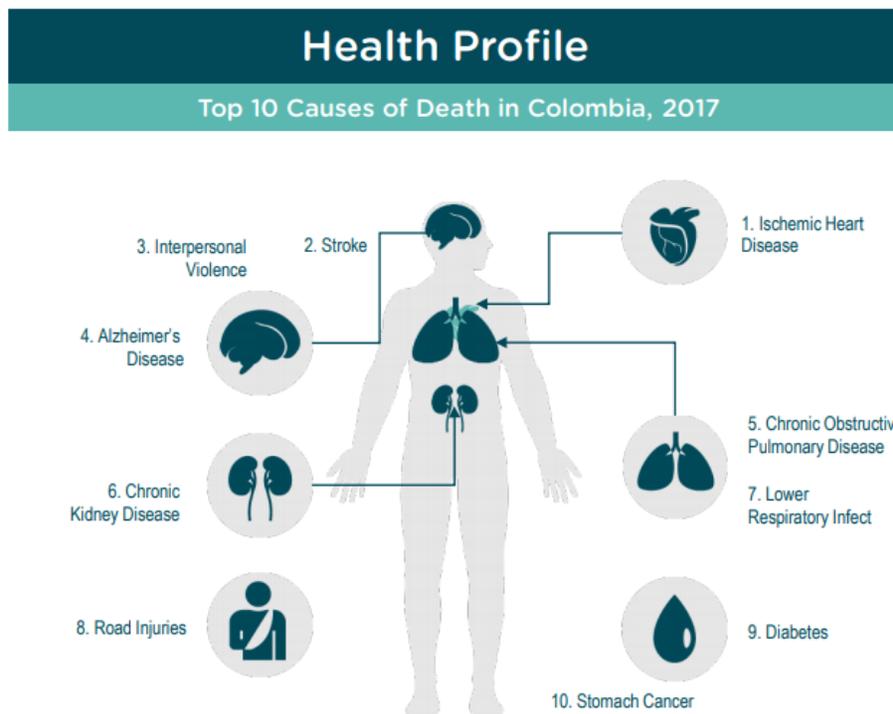


Figura 2: Top 10 Causas de Muerte en Colombia, 2017 (Emis & Industry, 2020)

Para el cierre del 2019, se encontraban 45,5 millones de personas afiliadas al sistema de Salud de las cuales 22,8 millones en el Régimen subsidiado¹ y 22,6 en el Régimen contributivo²; de manera adicional se identificaron 1,4 millones de personas en afiliadas a entidades privadas.

Sector	Total Personas (Millones)
Sistema de Salud: Régimen Contributivo	22,83
Sistema de Salud: Régimen Subsidiado	22,63
Privado	1,4

Tabla 1: Distribución Sistema de Salud Colombiano Cierre 2019 (Emis & Industry, 2020)

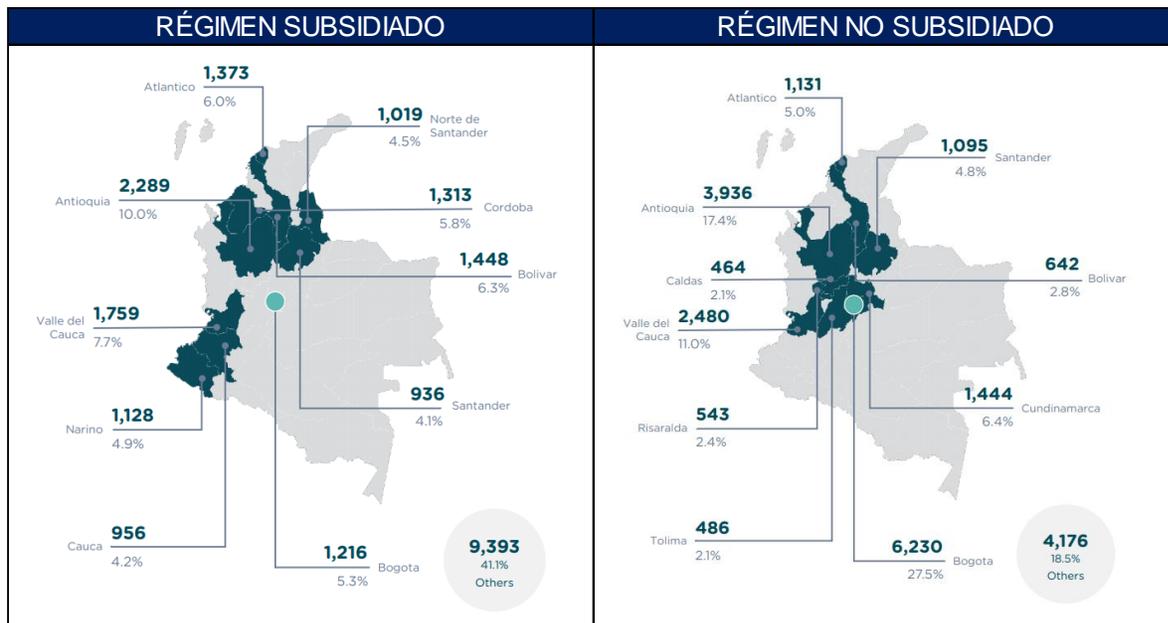


Figura 3: Número de afiliados (millones) al Sistema de Salud por departamento y régimen (Subsidiado y No Subsidiado) Cierre 2019. (Emis & Industry, 2020)

¹ Régimen Subsidiado: El Régimen Subsidiado es el mecanismo mediante el cual la población más pobre del país, sin capacidad de pago, tiene acceso a los servicios de salud a través de un subsidio que ofrece el Estado.

² Régimen Contributivo: Conjunto de normas que rigen la vinculación de los individuos y las familias al Sistema General de Seguridad Social en Salud, cuando tal vinculación se hace a través del pago de una cotización, individual y familiar, o un aporte económico previo financiado directamente por el afiliado o en concurrencia entre éste y su empleador

De acuerdo con la subdivisión identificada en la **Tabla 1** donde se tienen el sistema de salud público y el privado, se puede decir que en el mercado de medicamentos de Colombia, coexisten 2 submercados derivados de 2 canales de distribución, denominados de la siguiente manera:

- Medicamentos Institucionales: Canal de distribución para entrega de medicamentos de personas afiliadas al sistema de Seguridad Social ya sea régimen contributivo o Subsidiado. En esta división por lo general predomina la dispensación de medicamentos genéricos y no es posible su sustitución por medicamentos de marca, los compradores de estos medicamentos son las EPS, IPS y Secretarías Municipales y Departamentales; la distribución está a cargo de Farmacias, Operadores logísticos e IPS y el consumidor final, son los afiliados al Sistema de Salud.(Vásquez et al., 2010)
- Medicamentos Comerciales: Canal de distribución enfocado a venta directa al público y que es usado por el sector privado, esto quiere decir que el médico puede prescribir bajo alguna marca en específico y el consumidor tiene la libertad de escoger el medicamento ya sea por marca o su nombre genérico; los compradores pueden ser tanto personas Naturales como Jurídicas, la distribución está a cargo de las droguerías o almacenes de cadena y el consumidor final puede ser toda la población. (Vásquez et al., 2010)



Figura 4: Mercado de Medicamentos en Colombia. Adaptado (Vásquez et al., 2010)

Las empresas extranjeras dominan el mercado farmacéutico en términos de ventas, se tienen notables inversores como Bayer (Alemania), Sanofi (Francia), GlaxoSmithKline (Reino Unido) y las empresas estadounidenses Pfizer, Abbott, Johnson & Johnson; del mercado local resaltan empresas como Tecnoquímicas y Procaps, las cuales se centran en medicamentos de venta libre y genéricos. (EMIS, 2020)

Colombia cuenta con un déficit en la balanza comercial internacional de productos farmacéuticos, según los datos de UN Comtrade data, las importaciones de productos farmacéuticos llegaron a los \$98,8 millones de dólares en 2019 versus unas exportaciones de \$4,7 millones de dólares; desde el gobierno nacional se está buscando incentivar la producción local para empezar a disminuir esta brecha. (EMIS, 2020)

Factores tanto internos como externos han impedido el desarrollo del sector farmacéutico y Sanitario en los últimos años; en primera medida la crisis financiera del sistema que continúa deteriorándose en gran medida en el segmento subsidiado generando la liquidación de 4 Entidades Prestadoras de Salud EPS entre Agosto de 2018 y Enero de 2020; mientras que otras 3 EPS no pudieron ofrecer sus servicios en algunas regiones del país; teniendo como resultante

la reasignación de 2,7 millones de afiliados a otras entidades. En segunda medida existe una limitación en la producción de medicamentos especializados, generando una dependencia de las importaciones, ocasionando una alta volatilidad en sus precios y un riesgo latente de desabastecimiento y baja oportunidad en tiempos de respuesta.(Emis & Industry, 2020)

Para el año de 2013 el Ministerio de Salud y Protección Social, mediante la resolución 1604 de 2013 señaló que las entidades promotoras de salud tendrán la obligación de suministrar y distribuir los medicamentos cubiertos por el Plan Obligatorio de Salud a sus afiliados de manera completa e inmediata; en el evento excepcional que la Entidad Promotora de Salud no pueda realizar la entrega completa en el momento que se reclamen los medicamentos, estas deberán disponer del mecanismo para que en un plazo no mayor a 48 horas se coordine y garantice su entrega en el lugar de residencia o trabajo si el afiliado lo autoriza.(MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL., 2013)

Teniendo presente la normatividad del sistema de seguridad social colombiano y el riesgo de desabastecimiento de medicamentos se traduce en un reto logístico para las cadenas de abastecimiento donde se debe realizar la entrega del producto en el menor tiempo posible a costos razonables, por tanto el presente trabajo tiene como objetivo proponer la configuración de la red logística de productos farmacéuticos mediante el desarrollo de un modelo de optimización enfocada en disminución de costos y tiempos de respuesta; tomando como caso de estudio un actor del sector. Para el desarrollo de este trabajo se plantean 2 fases; una primera Fase de tipo Exploratorio donde se realiza un proceso de revisión de la literatura enfocada al diseño de redes de abastecimiento y se realiza la caracterización de la red logística presente en el caso de estudio; en una segunda Fase de tipo Propositivo donde se propone la configuración de la red de abastecimiento desde un enfoque de red saliente y entrando en detalle en cómo debería ser la configuración interna de las Plataformas de abastecimiento en función de su tipo, tamaño y demanda a atender, con el fin de establecer los costos fijos y costos variables asociados a realizar apertura de una nueva locación; se establecen los posibles arcos de envío y suministro, resaltando los costos y tiempos asociados a cada uno de estos.

Las variables de Costos fijos, Costos Variables, arcos de envío y suministro, son los principales inputs para el desarrollo del modelo de optimización el cual es desarrollado desde 2 enfoques (*Disminuir Costos y Disminuir Tiempos de Respuesta*) los cuales establecen el límite superior (Configuración de red, donde se minimizan los costos totales) y el límite inferior (Configuración

de red, donde se minimizan los tiempos de respuesta – lead time de entrega); a partir de estos 2 límites se establecen una serie de propuestas de configuraciones de red que son óptimas en función de costos, con un tiempo máximo de respuesta como restricción.

Como resultado final se tiene una matriz de configuraciones de redes logísticas de abastecimiento, las cuales tienen unos costos logísticos y tiempos de respuesta asociados y desde un entorno empresarial facilita la toma de decisiones en función a los objetivos estratégicos que se tengan. Por último, se plantean una serie de recomendaciones de tipo estratégico, táctico y operativo, basados en el caso de estudio.

1.Generalidades de la Investigación

1.1. Problemática y relevancia de la investigación

El problema de investigación identificado para el desarrollo de este trabajo está centrado en el diseño de la red de abastecimiento dentro de cadena de abastecimiento de tipo farmacéutica, desde un enfoque de red saliente que es la entrega desde distribuidores a minoristas o clientes (Lowe et al., 2002), centrado en el contexto colombiano.

Analizando el sector farmacéutico colombiano se identifica la siguiente problemática:

1. El mercado farmacéutico es volátil, donde el suministro de medicamentos depende en su mayoría de empresas extranjeras mediante procesos de importación de medicamentos lo cual aumenta el riesgo de ruptura de inventario y desabastecimiento; de acuerdo con el informe de Gestión del desabastecimiento de medicamentos en Colombia 2013-2018, se identifica que la principal causa de desabastecimiento es contar con pocos oferentes, seguido por problemas de manufactura.

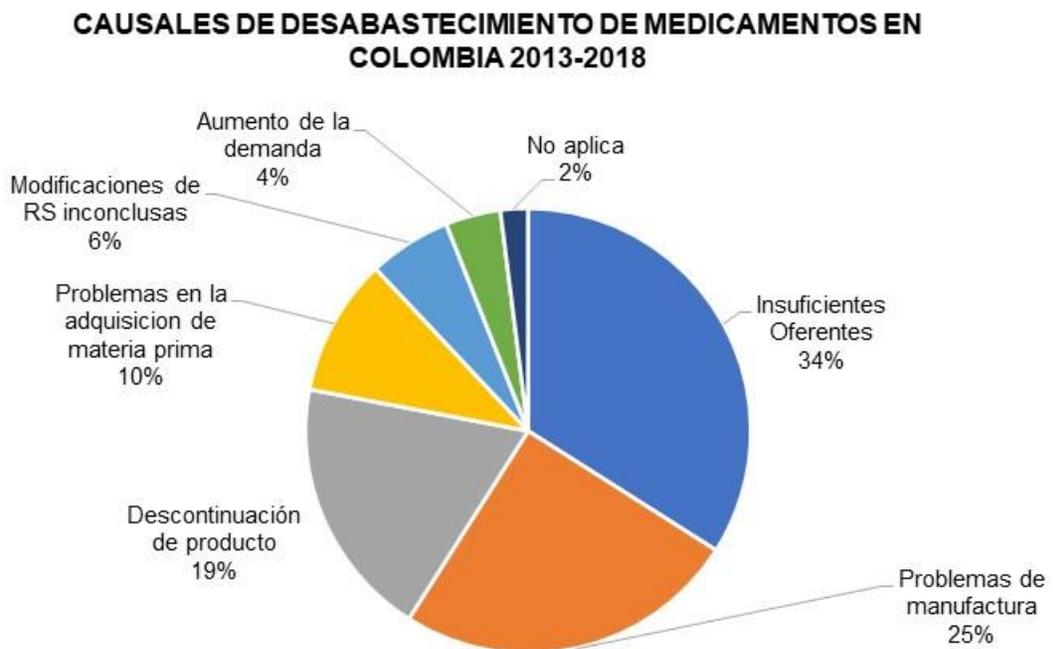


Figura 5: Causales de desabastecimiento de Medicamentos en Colombia 2013-2018.(INVIMA (Instituto de Vigilancia de Medicamentos y alimentos), 2018)

2. El crecimiento acelerado de la población adulta en Colombia (mayores de 65 años) representa un aumento en la necesidad de atención médica y de manera directa se presenta constante aumento en la demanda de medicamentos.
3. La normatividad colombiana existente, exige que en el evento excepcional que la Entidad Promotora de Salud no pueda realizar la entrega completa en el momento que se reclamen los medicamentos, estas deberán disponer del mecanismo para que en un plazo no mayor a 48 horas se coordine y garantice su entrega en el lugar de residencia o trabajo si el afiliado lo autoriza.

Esto representa un reto logístico para las cadenas de abastecimiento donde deben adaptarse de manera rápida a las necesidades del mercado minimizando al máximo las entregas parciales o incompletas de medicamentos a los usuarios y cumplir con los tiempos de respuesta que exige el mercado y la legislación colombiana.

Por lo tanto se toma como caso de estudio un actor del sector farmacéutico el cual se encuentra presente en los 2 mercados de medicamentos (Medicamentos Comerciales y Medicamentos Institucionales) y que tiene el rol de realizar el abastecimiento de medicamentos al usuario final por medio de la entrega desde establecimientos farmacéuticos (Droguerías³ – Servicios Farmacéutico⁴) dentro del desarrollo se identifica que la industria farmacéutica entrega pedidos bajo un Fill Rate⁵ del 59% para el cierre del 2020, generando un riesgo de ruptura de inventario dentro de las plataformas de abastecimiento, con respecto al indicador de medicamentos pendientes o no entregados⁶ al usuario final se identifica que esta sobre el 0,69% para el cierre del 2020. Partiendo de los medicamentos no entregados al usuario se identifica que el tiempo promedio de entrega está entre las 24 horas a 96 horas desde el momento que se tiene

³ Droguerías: Localización física donde se presenta la venta de medicamentos a cualquier persona natural.

⁴ Establecimiento Farmacéutico: Localización física donde se presenta la dispensación de medicamentos los cuales son entregados únicamente a los afiliados del sistema de salud y estos deben contar previamente con autorización de las EPS.

⁵ Fill Rate: El Fill-Rate (FR) es un indicador que mide la cantidad de unidades que se entregan a los clientes con respecto de a la solicitud.

⁶ Indicador de Pendientes: Es un indicador que mide la cantidad de medicamentos no entregados con respecto a los demandados por los usuarios.

disponibilidad del producto en las plataformas de abastecimiento hasta que se realiza la entrega al usuario final.

Bajo esta problemática del sector se plantea y se busca dar respuesta a la siguiente pregunta de Investigación: ¿Cómo debe estar configurada la red logística de productos farmacéuticos en Colombia, desde un enfoque de disminución de tiempos de respuesta?

1.2. Objetivos Generales y Objetivos Específicos

1.2.1. Objeto Principal

Proponer la Configuración de la Red Logística de Productos farmacéuticos, mediante un modelo de programación lineal entera mixta para la optimización multiobjetivo de costos y tiempos de respuesta, desde un enfoque de Red Saliente, tomando como caso de estudio una Cadena de Droguerías del sector Farmacéutico de Colombia.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar la Red Logística de productos Farmacéuticos desde un enfoque de red saliente, tomando como caso de estudio una Cadena de Droguerías del sector Farmacéutico de Colombia.
- Modelar la Red Logística mediante un modelo de programación lineal entera mixta para la optimización multiobjetivo de costos y tiempos de respuesta.
- Evaluar escenarios de mejora a partir de los resultados del modelo y de las oportunidades identificadas en la caracterización de la Red Logística.
- Generar las recomendaciones estratégicas, tácticas y operativas que a nivel Logístico se requieren para la implementación del mejor escenario.

2. Metodología

En este capítulo se establece la hoja de ruta y conjunto de pautas a seguir con el fin de cumplir los objetivos propuestos. Basado en los componentes del proceso de investigación enunciado por (Bernal, 2016), se detallarán las partes del tipo de investigación, enfoque de investigación y fuentes de investigación.

El tipo de investigación que se va a desarrollar es un Estudio de Caso donde se busca estudiar en profundidad una unidad de análisis específica, tomada de un universo poblacional (Bernal, 2016), para el desarrollo de este trabajo se toma como caso o unidad de análisis una empresa del sector farmacéutico de Colombia.

El enfoque de investigación de este trabajo es desarrollado bajo una metodología mixta con un enfoque Secuencial Exploratorio de acuerdo con una de las alternativas de la investigación trabajada por Creswell como se observa en la **Figura 6**, donde se involucran métodos de tipo cualitativo y cuantitativo, enfocados en analizar un caso base y presentar un enfoque propositivo a partir de los resultados obtenidos (Creswell, 2008).

Quantitative	Qualitative	Mixed Methods
<ul style="list-style-type: none">• Experimental designs• Nonexperimental designs, such as surveys	<ul style="list-style-type: none">• Narrative research• Phenomenology• Grounded theory• Ethnographies• Case study	<ul style="list-style-type: none">• Convergent• Explanatory sequential• Exploratory sequential• Transformative, embedded, or multiphase

Figura 6: Diseños de Investigación alternativos.(Creswell, 2008)

Por lo tanto se desarrollan 2 Fases en el marco de la investigación; una primera Fase Exploratoria, donde de manera cualitativa se realiza una caracterización o descripción de la configuración de la red de abastecimiento del caso de estudio y una segunda Fase de tipo Propositivo, donde se propone la configuración de la red de abastecimiento ajustada para el caso de estudio, con un diseño metodológico para determinar las posibles localizaciones de las plataformas de abastecimiento y su configuración interna; finalizando con la formulación matemática del modelo de optimización en función de costos y tiempos de respuesta; con el fin de establecer recomendaciones de mejora.

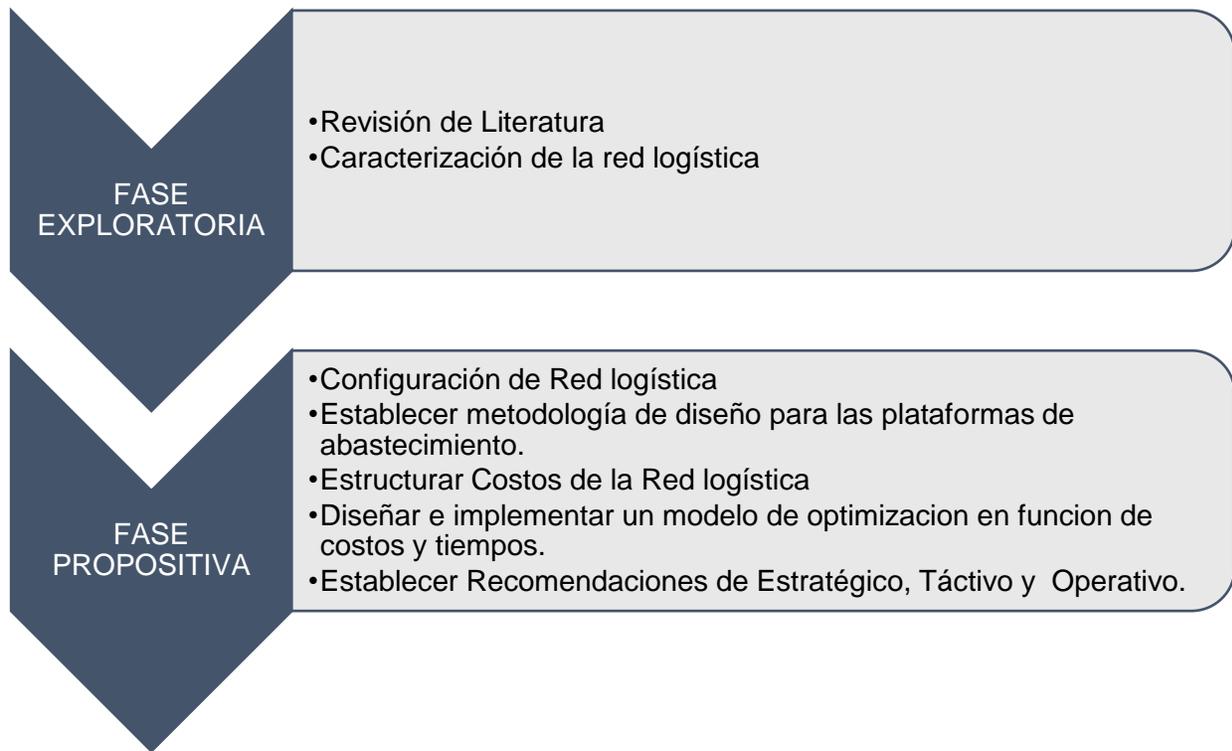


Figura 7: Estructura Metodológica.

Como fuentes de información para el desarrollo de la investigación se clasifican en dos tipos (Bernal, 2016):

- Fuentes Primarias: La información obtenida a partir de las personas expertas que están involucradas dentro del caso de estudio.
- Fuentes Secundarias: Información de tipo cuantitativa, que permite corroborar y analizar de manera detallada los atributos obtenidos en las fuentes primarias.

2.1. Fase Exploratoria

Con el fin de cumplir con el objetivo planeado de Caracterizar la Red Logística de productos Farmacéuticos desde un enfoque de red saliente, tomando como caso de estudio una Cadena de Droguerías del sector Farmacéutico de Colombia, se desarrollan 2 grandes actividades las cuales se relacionan en la **Tabla 2**.

FASE	OBJETIVO	ACTIVIDADES	HERRAMIENTA	PRODUCTO
FASE I EXPLORATORIA	Caracterizar la Red Logística de productos Farmacéuticos desde un enfoque de red Saliente, tomando como caso de estudio una Cadena de Droguerías del sector Farmacéutico de Colombia.	Revisión de literatura y realización del estado del arte	Estudio Bibliométrico	Documento de Estado del arte
		Caracterización de la red logística a partir de un caso de estudio	Entrevista a expertos Minería de datos	Configuración Actual de la red logística

Tabla 2: Fase Exploratoria (Actividades y Herramientas)

Con el objetivo proponer la configuración de la red logística de productos farmacéuticos bajo criterios de costos y tiempos de respuesta, se realiza un estudio bibliométrico para analizar de manera cualitativa la producción científica desarrollada bajo el marco relacionada en la **Figura 8** partiendo de lo general (Gestión de la cadena de suministro) y llegando a lo particular (Aplicaciones Diseño de Redes de Abastecimiento), con el fin de entender el desarrollo y tendencias que se han abordado de este tema.

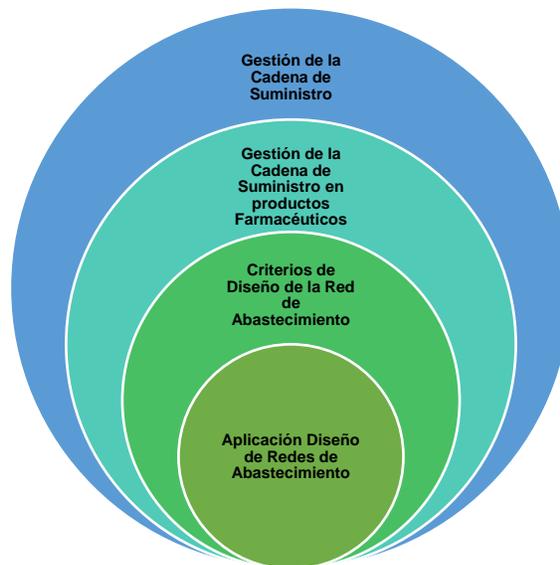


Figura 8: Estructuración estudio bibliométrico

Para caracterizar la red logística de abastecimiento de productos farmacéuticos se toma como caso de estudio una compañía del sector farmacéutico de Colombia, con el fin de identificar:

- Configuración de la red de abastecimiento
- Actores de la red de abastecimiento.
- Tipo de producto, características y condiciones.
- Medio y modo de transporte.

En una primera fase se utiliza como método cualitativo la entrevista a expertos donde se tiene un acercamiento con los roles de Jefe de Logística, Coordinador Nacional de Centros de distribución y Coordinador Nacional de transporte; en este espacio se comprende la estructuración de la red de abastecimiento desde los procesos de recepción de mercancías hasta la entrega de medicamentos en los establecimientos farmacéuticos como se puede observar en el anexo **Instrumento_Entrevista_Experto.pdf** y en una segunda fase, se realiza un análisis de datos con el fin de corroborar la información obtenida y tener datos de entrada para la fase propositiva.

Para el análisis de datos se contó con la siguiente información la cual fue tabulada y analizada por medio de Microsoft Excel:

- Demanda Mensual de Medicamentos: Esta información contiene el detalle de los despachos de medicamentos desde los Centros de Abastecimiento hacia los Establecimientos Farmacéuticos en un periodo de tiempo.
- Maestro de Materiales: Contiene las características físicas del producto (Largo, Ancho, Alto, Peso) y su costo unitario.
- Lista de Puntos: Contienen el listado de establecimientos farmacéuticos y Centros de abastecimiento con su localización geográfica (Ciudad / Municipio, Departamento).
- Costos logísticos actuales

2.2. Fase Propositiva

Dentro de esta fase se busca desarrollar los siguientes objetivos a partir de las actividades y herramientas relacionadas en la siguiente tabla:

FASE	OBJETIVO	ACTIVIDADES	HERRAMIENTA	PRODUCTO
FASE II PROPOSITIVA	Modelar la Red Logística mediante un	Proponer la configuración de red logística	Entrevista a expertos	Configuración propuesta de la red logística

<p>modelo de programación lineal entera mixta para la optimización multiobjetivo de costos y tiempos de respuesta.</p>	<p>Determinar los Posibles Centros de Abastecimiento</p>	<p>Minería de datos</p>	<p>Localizaciones Factibles</p>
	<p>Proponer una metodología para el diseño de la configuración interna de los posibles Centros de Abastecimiento.</p>	<p>Metodología de diseño</p>	<p>Matrices de requerimientos asociados a las plataformas de abastecimiento.</p>
	<p>Diseñar la configuración Interna de los Centros de Abastecimiento.</p>		
	<p>Identificar costos Fijos y Variables</p>		<p>Matriz de Costos Fijos y Costos Variables, asociados a las plataformas de abastecimiento.</p>
	<p>Establecer arcos de envío</p>	<p>Análisis de costos, tiempos y viabilidad</p>	<p>Matriz de Costos y tiempos de envío</p>
	<p>Establecer arcos de suministros</p>	<p>Análisis de costos, tiempos y viabilidad</p>	<p>Matriz de Costos y tiempos de suministro</p>
	<p>Diseño del modelo de Optimización</p>		<p>Propuesta Modelo matemático</p>
	<p>Evaluar escenarios de Mejora a partir de los resultados del Modelo y de las oportunidades identificadas en la caracterización de la Red Logística.</p>	<p>Optimización en función de Costos</p>	<p>Jupyter, Python, Gurobi</p>
<p>Optimización en función de Tiempos</p>		<p>Jupyter, Python, Gurobi</p>	<p>Configuración de Red en función de Tiempos</p>
<p>Análisis de escenarios diseño red de distribución</p>		<p>Jupyter, Python, Gurobi</p>	<p>Matriz de Configuraciones de Red de distribución</p>
<p>Análisis Caso Base</p>			<p>Comparación del Caso Base vs</p>

				Modelos Propuestos
	Generar las recomendaciones Estratégicas, Tácticas y Operativas que a nivel Logístico se requieren para la implementación del mejor escenario	Establecer Iniciativas de mejora a partir de los resultados.		Recomendaciones Operativas, Tácticas y Estratégicas

Tabla 3: Fase Propositiva (Actividades y Herramientas)

Con el fin de tener una correcta segmentación se desarrollará en 5 grandes etapas, donde se agruparán y desarrollarán cada una de las actividades planteadas en la **Figura 8**:

ETAPA I	ETAPA II	ETAPA III	ETAPA IV	ETAPA 5
<ul style="list-style-type: none"> • Proponer la configuración de red logística. • Determinar los Posibles Centros de Abastecimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Proponer una metodología para el diseño de la configuración interna de los posibles Centros de Abastecimiento. • Diseñar la configuración Interna de los Centros de Abastecimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer Costos Fijos y Variable R • Establecer arcos de envío • Establecer arcos de suministro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño del modelo de Optimización • Optimización en función de Costos • Optimización en función de Tiempos • Análisis de escenarios diseño red de distribución • Análisis Caso Base 	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer Iniciativas de mejora a partir de los resultados.

Figura 9: Etapas de desarrollo - Fase Propositiva.

Etapa I: Se inicia con el proceso de propuesta de la nueva configuración genérica de la red logística para productos farmacéuticos, donde se detallan los posibles actores que la conformarían a partir del contexto empresarial y la caracterización del caso de estudio, dentro de esta primera etapa se realiza un análisis de la información de la demanda, donde se estructuran las posibles localizaciones de las nuevas plataformas de abastecimiento.

Etapa II: Se propone y desarrolla una metodología para establecer los componentes o configuración interna que debe tener una plataforma de abastecimiento y así poder determinar los costos estimados para abrir una nueva locación.

Etapas II: Se establecen los costos fijos y costos variables asociados a abrir una plataforma de abastecimiento; también se identifican los costos de envío y suministro de la red; que se pueden identificar en la configuración de la nueva red logística, los cuales serán input para la ejecución del modelo de optimización.

Etapas IV: Se desarrolla el modelo de optimización ajustado a la nueva configuración de la red logística en función de costos y tiempos de respuesta, en etapa se realiza un análisis a partir de los resultados arrojados por el modelo.

Etapas V: A partir del caso base y los resultados arrojados por el modelo, se establecen iniciativas de mejora desde 3 marcos de decisión (Estratégico, Táctico y Operativo).

3.Marco Teórico

En este capítulo se realiza una revisión del concepto del Gestión de la cadena de suministro conocido en inglés como Supply Chain Management (SCM) y detallando el concepto de diseño de la red de abastecimiento con el fin de tener un marco teórico para el desarrollo del trabajo.

3.1. Gestión de la Cadena de Suministro

La gestión de la Cadena de Suministro se puede definir como la integración de la planeación, ejecución, seguimiento y control, de cada uno de los eslabones que intervienen con el fin de crear, transformar y entregar valor al cliente final ya sean productos o servicios. (Chopra, 2003)

Una cadena de Suministro está conformada por todos los Actores que interactúan de manera directa o indirecta para poder cumplir o satisfacer la solicitud de algún cliente, abarca desde los productores de materias primas, fabricantes, centros de Acopio, Transportadores, Tiendas de venta al menudeo y el cliente Final.(Chopra, 2003)



Figura 10: Diagrama conceptual - Gestión de la Cadena de Suministro (Elaboración Propia)

El objetivo de una Cadena de Suministro es maximizar el valor generado entre la diferencia del Costo del Producto y el Precio de Venta, en muchos casos está relacionado con la rentabilidad de las compañías, que viene siendo la diferencia entre los ingresos generados por los clientes y el costo total de la cadena de suministro. (Chopra, 2003)

Dentro de la cadena de suministro se presenta un conjunto de actividades funcionales que se repiten a lo largo del canal de flujo, mediante las cuales las materias se convierten en productos terminados y se añade valor al consumidor final; dado que las fuentes de materias primas, las fábricas de producción, los centros de distribución y los puntos de consumo final, no se

encuentran en el mismo lugar, el flujo físico del producto representa una serie de pasos sistémicos y repetitivos a lo largo de la cadena.(BALLOU, 2004)

3.1.1. Diseño de la red de abastecimiento.

El problema de la configuración de la red es relativo a la especificación de la estructura a través de la cuál fluyen los productos desde sus puntos de origen hacia los puntos de demanda. Esto implica determinar las instalaciones que se utilizarían, la cantidad y su respectiva localización; poder establecer los productos que manejaría y los clientes que atendería; los servicios de transporte utilizados entre ellas (Puntos de Origen – Puntos de destino); los niveles de inventario de cada una de ellas. (BALLOU, 2004)

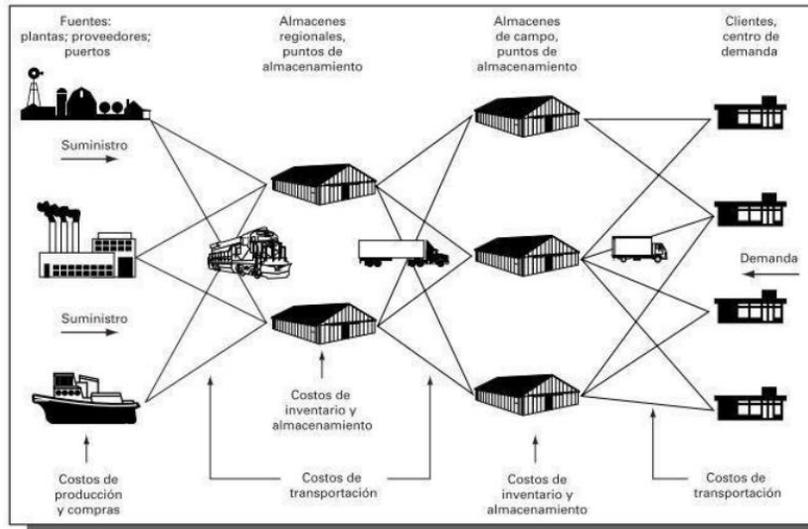


Figura 11: Diagrama conceptual - Red de abastecimiento. (BALLOU, 2004)

Existen 2 factores que se deben evaluar para el diseño de una Red de abastecimiento (Las necesidades del Cliente y el costo de Satisfacer las necesidades del Cliente); ahora el servicio al Cliente puede ser visto por varios componentes como lo son los Tiempos de Respuesta, Variedad del Producto, Disponibilidad del Producto, Experiencia del Cliente, Tiempo para llegar al Mercado, Visibilidad del Pedido. (Chopra, 2003). Factores como el tiempo de Respuesta hacia el Cliente es inversamente proporcional con el número de instalaciones, a mayor número de instalaciones, menor tiempo de respuesta, pero el tener mayor número de instalaciones implica tener mayores costos de Inventario. Los costos logísticos totales son la suma de los costos de inventario,

transporte e instalación para un suministro a toda una red. A medida que aumenta el número de instalaciones, los costos logísticos totales primero disminuyen y luego tienden a aumentar, por tanto, desde las organizaciones se debe buscar el punto de equilibrio donde se minimicen los costos totales; ahora bien si una empresa desea reducir aún más los tiempos de respuesta hacia los clientes, es posible que debe aumentar sus instalaciones incurriendo en aumentos de los costos logísticos totales. (Chopra, 2003).

4.Estado del Arte

En el desarrollo del trabajo se realizó una revisión de la literatura existente con el fin de tener un contexto sobre la Gestión de la cadena de suministro farmacéutica, identificando sus particularidades; posteriormente se busca establecer cuál son los aspectos claves a la hora de abordar el problema del diseño de la red de abastecimiento en función de identificar los criterios de diseño más relevantes; por último se detallan las aplicaciones del concepto de diseño de red de abastecimiento mediante el análisis de 46 artículos de investigación.

4.1. Gestión de la Cadena de Suministro en productos farmacéuticos

La industria farmacéutica, podría ser considerada como una inmensa industria global y puede definirse como un complejo de procesos, operaciones y organizaciones involucradas en el descubrimiento, desarrollo y fabricación de medicamentos (Shah, 2004). La Cadena de Suministro de productos farmacéuticos es la estructura bajo la cual se distribuyen los productos con la calidad adecuada, en el momento adecuado, con el fin de satisfacer al usuario final, en consecuencia, se considera una industria global con un alto grado de impacto en la vida humana puesto cualquier variación en los procesos de producción, almacenamiento y distribución pueden poner en peligro la salud.

Se ha considerado que las cadenas de suministro farmacéuticas son más complejas debido a que requieren la participación de diferentes actores como lo son fabricantes, mayoristas, distribuidores, clientes, proveedores de servicios de sistemas de información, agentes reguladores, entre otros. Debido a estas complejidades el sector farmacéutico no se investiga ampliamente; también se considera que debido a la falta de investigación el sector farmacéutico en los países en desarrollo no puede contribuir significativamente en los mercados mundiales. (Singh et al., 2016)

Las cadenas de abastecimiento de tipo Farmacéutico se han enfocado en incluir tecnología para mejorar la calidad y cantidad de sus productos en los procesos de fabricación; no obstante, la recepción, almacenamiento de producto y salida de mercancías, están lejos de satisfacer las necesidades. Se ha establecido que las Redes de suministro de productos de tipo Farmacéutico

requieren enfocar esfuerzos en diseñar técnicas de optimización eficientes para abordar los problemas de reducción de costos y mejorar la capacidad de respuesta de la red (Masoumi et al., 2012).

Es importante resaltar que los productos cada vez tienen un ciclo de vida más reducido y ha aumentado la introducción de nuevos productos, por lo que se les da una mayor importancia a las operaciones logísticas de lanzamiento de producto, lo que implica aumentar la capacidad de respuesta de la Cadena de suministro (Hansen & Grunow, 2015). Para el año 2003 en los EE. UU. se perdieron más de 500 millones de dólares, causados por medicamentos vencidos y en 2005 en América Latina más de 2.000 Millones de Dólares en pérdidas por medicamentos vencidos (Zahiri et al., 2018a).

El problema del diseño de la red de productos farmacéuticos se ha venido enfocando en minimizar los costos totales de la red y minimizar la demanda no atendida (Zahiri et al., 2018a); de manera adicional entran en los modelos variables como la caducidad de los medicamentos (Masoumi et al., 2012); estos son desarrollados mediante modelos de programación lineal mixta con el objetivo de poder tomar decisiones de tipo estratégicas hacia la apertura de nuevos centros de fabricación, centros de abastecimiento y distribución (Principales - Locales) y la interacción de los arcos entre los actores que la conforman como lo son Fabricantes Primarios, Fabricantes secundarios, Centros de Distribución, Farmacias y Hospitales (Mousazadeh et al., 2015).

Es importante resaltar que los productos farmacéuticos representan un costo elevado en el mantenimiento de la salud, por lo tanto se aborda la problemática del modelo de abastecimiento de medicamentos, con decisiones de control de inventarios como lo son los mínimos, máximos y punto de reorden, enfocado en 3 indicadores claves (Nivel de Servicio, Nivel de ocupación del almacenamiento, Número esperado de resurtidos), este tipo de decisiones abordan niveles tácticos y estratégicos. (Kelle et al., 2012)

Por lo tanto el diseño de las plataformas de producción, plataformas de abastecimiento y la red de distribución juega un papel importante a la hora de buscar la mejora en la rentabilidad de la cadena de suministro farmacéutica, lo cual ha llevado a la búsqueda de enfoques de manera integral y eficiente con el fin de buscar reducir los costos operativos, aumentar la productividad de la cadena de suministro y mejorar la capacidad de respuesta; lo cual ha despertado el interés en los últimos años por parte de los investigadores (Singh et al., 2016).

4.2. Criterios de diseño de la Red de abastecimiento.

El problema del diseño de la red de abastecimiento es un problema con diferentes aristas en la gestión y solución, lo cual implica la toma de decisiones a nivel de las instalaciones, su localización y capacidades, decisiones a nivel del tipo de producto y el enfoque de la red; las características del modelo de optimización y su respectivo método de solución; (Ghaderi et al., 2016) realiza una clasificación de la literatura existente determinando la taxonomía identificada en la **Figura 12**, donde se pueden establecer los criterios existentes a la hora de diseñar una red de abastecimiento.

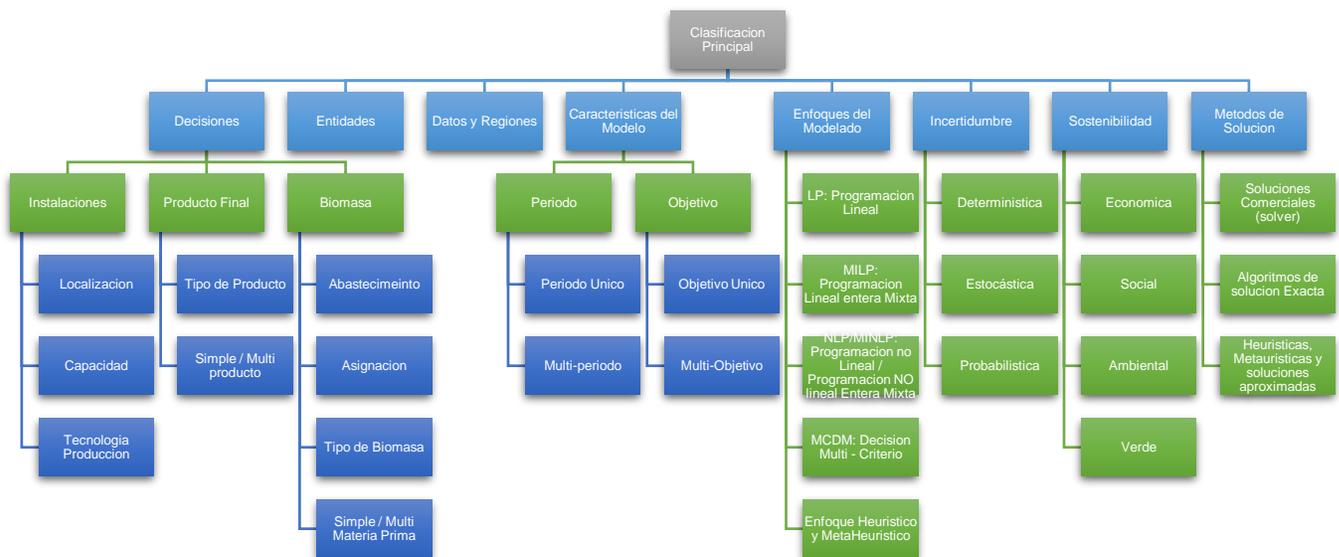


Figura 12: (Ghaderi, Pishvae, & Moini, 2016) Enfoques, Diseño de Redes de Suministro

(Lowe et al., 2002) enfoca la solución del problema del diseño de la red de abastecimiento, partiendo de una segmentación en 3 momentos o etapas:

- Red Entrante: hace referencia a los procesos de abastecimiento de Materias primas, procesos de Producción
- Red de Distribución: Procesos de traslado de productos entre productores y Distribuidores.
- Red Saliente: Procesos de Distribución entre los Distribuidores hacia los minoristas / Clientes.

En la subred de salida, se determina el número y la ubicación de los centros de distribución para satisfacer las demandas de los clientes. El modelo de subred de salida tiene como objetivo diseñar una red que pueda minimizar la suma del costo de operación y el costo fijo sujeto a la capacidad de rendimiento de los centros de abastecimiento y distribución.

Otra perspectiva es la presentada por (Jang et al., 2002), donde se propone un modelo de Red de cadena de suministro enfocado en 4 aspectos:

- Optimización en el diseño de la red de suministro.
- Planificación de Operaciones de Producción.
- Distribución de materias Primas desde proveedores hasta clientes.
- Gestión de Información

Las decisiones sobre la ubicación de las instalaciones desempeñan un papel fundamental en el diseño estratégico de las redes de la Cadena de Suministro (Melo et al., 2009), este modelo de ubicación de instalaciones se ha estudiado desde un enfoque de localización discreta y localización continua; pero se entra a discutir los siguientes interrogantes:

- ¿Qué aspectos debe tener el modelo de ubicación de instalaciones?
- ¿Existen modelos de ubicación de instalaciones que ya se encajen en el contexto de Cadena de Abastecimiento?
- ¿La gestión de la Cadena de Abastecimiento requiere de un modelo de ubicación de instalaciones?

Por lo general el problema de ubicación de instalaciones se ha desarrollado como un problema discreto donde la selección de sitios es un conjunto finito de posibles ubicaciones y la función objetivo está dada en minimizar las distancias o los costos asociados a atender la demanda de los clientes. (Guillén et al., 2005) Aborda el problema de ubicación de las instalaciones desde 3 eslabones de la cadena (Plantas, Centros de Distribución y Minoristas), la función objetivo del

problema es encontrar la configuración de la cadena de suministro que maximice el valor presente neto, maximice la satisfacción de la demanda presente en las posibles localizaciones, restricciones de capacidades de plantas y almacenes, tasas de producción y Flujo de materiales. No obstante la localización no solo debe estar enfocada en analizar y establecer nuevas localizaciones, también se debe evaluar a lo largo del tiempo las opciones de reubicar o reducir las locaciones actuales sin dejar de lado la implementación de nuevas instalaciones, representan proyectos con horizontes de evaluación de largo plazo que implican grandes inversiones de capital (Melo et al., 2006). Para establecer la ubicación ideal, entrar a evaluar no solo los costos asociados a abrir una nueva locación; se deben tener presente los costos asociados a mantener el inventario, costos de distribución entre plantas y a minorista o cliente final (L. Yang et al., 2007).

Todo el diseño de redes de cadena de abastecimiento, son de tipo estratégico en su toma de decisiones. (Klibi & Martel, 2012) manifiesta que las cadenas de abastecimiento deben ser rediseñadas para durar por muchos años, pues se deben considerar eventos futuros, con eventos aleatorios; los modelos clásicos no incluyen la gestión del riesgo dentro del diseño de la red.

A la hora de diseñar la red de abastecimiento interactúan 3 niveles de decisión, (Lemmens et al., 2016) resalta la interacción que debe existir entre las decisiones de tipo Estratégico, Táctico y Operativo. El enfoque de estos 3 niveles debe estar dado mediante un enfoque unificado; estableciendo 5 criterios para evaluar la red de abastecimiento. La red debe contar con una Caracterización, un nivel de incertidumbre, medidas de desempeño, una metodología y por último su respectiva aplicabilidad.

Dentro del diseño de la red de abastecimiento también se deben involucrar conceptos como la implementación de modelo CrossDocking la cual es una técnica de logística relativamente eficiente que permite consolidar rápidamente los envíos de varias fuentes y realizar economías de escala en el transporte de salida, esta técnica cambia el enfoque de cadena de suministro, a la gestión de la cadena de la demanda, las existencias que llegan a un centro de CrossDocking ya se han asignado previamente a una orden de reaprovisionamiento generada por un minorista en la cadena de suministro, esta técnica permite, reducir costos operativos, reducir niveles de inventario. (Ross & Jayaraman, 2008)

Es importante considerar la competitividad como factor clave al diseñar una cadena de suministro, pues la afecta a futuro a nivel táctico y operativo. Las decisiones en el diseño de la red de

suministro tienen un impacto significativo sobre el retorno de la inversión, teniendo presente el impacto en mercados competitivos. Normalmente los modelos clásicos de diseño de redes de abastecimiento no contemplan la competitividad como factor clave, como lo puede ser la entrada de nuevos competidores, nuevos clientes, nuevos productos o nuevas necesidades del mercado. La intensa competitividad obliga a las empresas a ubicarse en una parte de la cadena de suministro y especializarse; las necesidades del mercado tienden a ser cambiantes. El objetivo final del modelo es mejorar la competitividad en toda la cadena, las características de la red varían según el modelo. Normalmente la función objetivo tiende a minimizar los costos o maximizar los rendimientos. (Farahani et al., 2014)

Las áreas de enfoque en la cadena de suministros están dadas por:

- Lean Supply Chain: Se enfoca en eliminar actividades, recursos, procesos que no generen valor; incluyen consideraciones de tipo económico, donde las funciones objetivo son netamente económicas.
- Agile / Responsive SC: Abarca la integración del concepto de Supply Chain Management y la fabricación ágil, las necesidades del cliente cambian de manera rápida, la función objetivo de estos modelos es minimizar el tiempo de lanzamiento para productos nuevos.
- Green SC: Se preocupa por la situación actual, gestión de desechos causados, diseño de redes de recuperación de productos, diseño de logística de reversa.
- Sostenible SC: Abarca la capacidad empresarial para mantenerse a lo largo del tiempo; una empresa sostenible es la que proporciona a la generación actual sus necesidades financieras, sociales, ambientales, sin comprometer futuras generaciones.
- Gestión del Riesgo en la Cadena de Suministro: Se preocupa por predecir los riesgos, eventos aleatorios que afecten la cadena de suministro y desarrollar la capacidad de recuperarse (resiliencia).

Por lo tanto, hoy en día la gestión de costos no garantiza que la cadena de suministro sea sostenible a lo largo del tiempo, por lo que es indispensable integrar múltiples objetivos a la hora de diseñar la red de abastecimiento.

4.3. Aplicación Diseño de Redes de Abastecimiento.

A partir de una revisión de literatura y selección de artículos en las bases de datos de Scopus, Science Direct y Emerald, sin descartar las aplicaciones realizadas en otros sectores, se realiza una revisión de las aplicaciones del concepto de diseño de redes de abastecimiento enfocado en el sector farmacéutico, con el fin de poder identificar los niveles de decisión que son abordados a la hora de enfrentar el problema del diseño de la red de abastecimiento, se establecen las principales variables a tener presente en los modelos y su respectivo enfoque de modelado y solución; para realizar esta clasificación adaptamos la clasificación taxonómica realizada por (Ghaderi et al., 2016)

Número Artículo	Año Artículo	Autor	Niveles de decisión	Variables para tener presente	Tipo incertidumbre	Enfoque del modelado
1	2002	(Jang et al., 2002)	Es,Tc	Lc, Cp, In, Lt	Dt	H
2	2002	(Lowe et al., 2002)		Cp	Et	H
3	2005	(Wilhelm et al., 2005)	Es	Lc, Cp	Dt	MILP
4	2005	(Guillén et al., 2005)	Es,Tc	Lc, Cp, In, Ri	Et	MILP
5	2005	(Ambrosino & Grazia Scutellà, 2005)	Es,Tc, Op	Lc, In, Co, Lt	Dt	MILP
6	2005	(Hugo & Pistikopoulos, 2005)	Es, Tc	Cp, So	Dt	MILP
7	2005	(Meixell & Gargeya, 2005)	Es	Lc, Cp, Co		
8	2006	(Melo et al., 2006)	Es	Lc, Cp, In	Dt	
9	2006	(Vila et al., 2006)	Es, Tc	Lc, Cp, In	Dt	MILP
10	2007	(Lieckens & Vandaele, 2007)	Es	Lc, Cp, Co, Lt, Ri	Et	NLP
11	2007	(L. Yang et al., 2007)	Es	Cp, Co	Dt	H
12	2008	(Ross & Jayaraman, 2008)	Es	Lc, Lt		H
13	2008	(Hinojosa et al., 2008)	Es	Lc, In, Co	Dt	MILP, H
14	2009	(Melo et al., 2009)	Es	Cp		
15	2012	(Klibi & Martel, 2012)	Es	Lc, Cp, Co, Ri	Et	H

16	2012	(Kelle et al., 2012)	Es,Tc, Op	Lc, Cp, In, Co	Dt	MILP
17	2012	(Masoumi et al., 2012)		Cp, Co, So		MILP
18	2012	(Susarla & Karimi, 2012)	Es	In, Co	Dt	MILP, H
19	2014	(Farahani et al., 2014)		Lc, Cp, In		
20	2014	(K. Govindan et al., 2014)	Es,Tc, Op	Co, So	Et	NLP, H
21	2014	(Coelho & Laporte, 2014)	Tc	In, Co	Dt	MILP
22	2014	(Soysal et al., 2014)	Tc	Co, So	Dt	MILP
23	2014	(Rezapour et al., 2014)	Tc	Lc, In, Co	Dt	MILP, H
24	2014	(G. Q. Yang et al., 2015)	Es	Co, Ri	Dt	H
25	2015	(Mousazadeh et al., 2015)	Es,Tc	Lc, Co	Et	MILP
26	2015	(Hansen & Grunow, 2015)		Co, Ri	Et	MILP
27	2015	(Kannan Govindan et al., 2015)	Es	Lc, So	Et	H
28	2015	(Salehi Sadghiani et al., 2015)		Lc, Co, Ri	Dt	H
29	2017	(Martins et al., 2017)	Es	Lc, Cp, In	Dt	MILP, H
30	2017	(Chatzikontidou et al., 2017b)	Es,Tc, Op	Lc, Cp, In	Dt	NLP
31	2017	(G. Yang & Liu, 2017)	Es	Co, Ri		MILP, H
32	2018	(Zahiri et al., 2018b)	Es, Tc	Lc, Cp	Dt	MILP, NLP, H
33	2018	(Gen et al., 2018)	Es	Lc, Co	Dt	H
34	2018	(Singh et al., 2018)	Es	Lc	Dt	H
35	2018	(Alzaman et al., 2018)	Tc	Cp, In, Co	Dt	H
36	2019	(Zheng et al., 2019)	Es,Tc, Op	Lc, Cp, In, Co	Dt	H
37	2019	(Sadeghi et al., 2019)	Tc	Cp, Co	Et	NLP
38	2019	(Darestani & Hemmati, 2019)	Tc	Co, So	Dt	H
39	2019	(Luo et al., 2019)	Tc	Cp, In	Dt	H

40	2020	(Yu & Solvang, 2020)	Es	Lc, So	Dt	H
41	2020	(Tirkolaei et al., 2020)	Es	Lc, Cp, In	Dt	MILP, H
42	2020	(Goodarzian et al., 2020)	Es, Tc, Op	Lc, In, Co, Lt		MILP, H
43	2020	(Biuki et al., 2020)	Es, Tc, Op	Lc, Cp, In, So		MILP, H
44	2020	(Shamsuzzoha et al., 2020)	Tc, Op	Cp, So		
45	2020	(Shoja et al., 2020)	Tc	Cp, Co, Lt	Et	H
46	2020	(Jouzdani & Govindan, 2020)	Es	Co, So	Dt	

Tabla 4: Revisión Bibliográfica - Aplicación diseño de redes de abastecimiento, enfoque de diseño. (Elaboración Propia)

CRITERIO	SIGLA	%
NIVELES DE DECISION		
Estratégico	Es	69,6%
Táctico	Tc	52,2%
Operativo	Op	17,4%
VARIABLES PARA TENER PRESENTE		
Localización	Lc	58,7%
Capacidad	Cp	56,5%
Inventario	In	41,3%
Costos	Co	56,5%
Tiempos (lead time)	Lt	13,0%
Sostenibilidad	So	13,0%
Riesgo	Ri	15,2%
TIPO INCERTIDUMBRE		
Determinísticos	Dt	58,7%
Estocásticos	Et	21,7%
ENFOQUE DEL MODELADO		
LP: Programación Lineal	LP	0,0%
MILP: Programación Lineal Entera mixta	MILP	43,5%
NLP: Programación no lineal	NLP	10,9%
Heurístico	H	56,5%

Tabla 5: Análisis revisión bibliográfica.

Se puede identificar que el diseño de redes de cadenas de abastecimiento abarca principalmente decisiones de tipo estratégico, donde del **69,6%** de las investigaciones relacionan en el proceso

de diseño de la red se da una toma de decisiones de tipo estratégico debido a los procesos de asignación de nuevas locaciones pues implican inversiones de mediano y largo plazo que afectan el funcionamiento de las empresas, en segunda medida decisiones de tipo táctico con un **52,2%**, que van relacionadas con la ejecución de la operación logística dentro de la cadena de suministro, donde entran decisiones de asignación y maximización del uso de las capacidades.

Se puede identificar que las 3 principales variables a tener presente en el diseño de la red de abastecimiento son la localización de las instalaciones, la capacidad asociada a estas y los costos totales de la red, estas 3 variables se identificaron en más del **50%** de los modelos aplicados.

Dentro de los modelos matemáticos identificados, la incertidumbre es de tipo determinístico puesto que las variables de entrada se conocen con certeza; los principales métodos de solución están dados por medio de MILP Programación Lineal Entera Mixta y Heurísticas. Es importante resaltar que en los últimos años dentro del proceso de modelado de la red se ha empezado a cambiar los objetivos de optimización pasando de minimizar costos o maximizar beneficios (1 solo objetivo) a manejarse múltiples objetivos como lo es la capacidad de respuesta, variables de sostenibilidad, riesgo, entre otros; sin embargo no se identifica una integración entre el diseño de la red de abastecimiento y el diseño de las plataformas de abastecimiento teniendo presente las particularidades del sector farmacéutico al contar con un variedad de medicamentos con diferentes condiciones de almacenamiento como lo son los medicamentos refrigerados los cuales requieren un rango de temperatura específico para su conservación e implica realizar altas inversiones a nivel de infraestructura que al final representan costos fijos en la red de abastecimiento.

5. Fase Exploratoria.

A partir del caso de estudio, este capítulo tiene como objetivo caracterizar la red de abastecimiento de productos farmacéuticos, para esto, por medio de una herramienta de tipo cualitativo (entrevista a expertos) y análisis de datos; se busca entender la configuración de la red y sus respectivas particularidades.

Se establecen los costos logísticos totales del caso de estudio o caso base, con el fin de comparar las nuevas configuraciones de red de abastecimiento y establecer las recomendaciones de mejora.

5.1. Caracterización de la red de abastecimiento

5.1.1. Configuración de la red de abastecimiento.

Para el desarrollo del trabajo, se tomó como base de análisis una Cadena de Droguerías del Sector Farmacéutico Colombiano, donde por medio de una entrevista a expertos se identifica la siguiente configuración de red conformada por 3 actores principales: Proveedores, Centros de Abastecimiento-Distribución y Establecimientos Farmacéuticos (Droguerías).

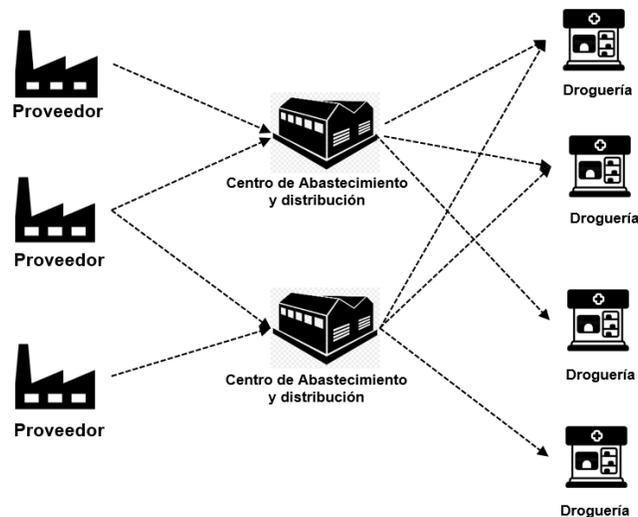


Figura 13: Configuración conceptual red de abastecimiento caso base (Elaboración Propia)

En la configuración de la red de distribución del caso de estudio de identificaron 2 grandes Centros de Acopio y Distribución, y un total de 451 establecimientos farmacéuticos situados en 17 departamentos a nivel Nacional.

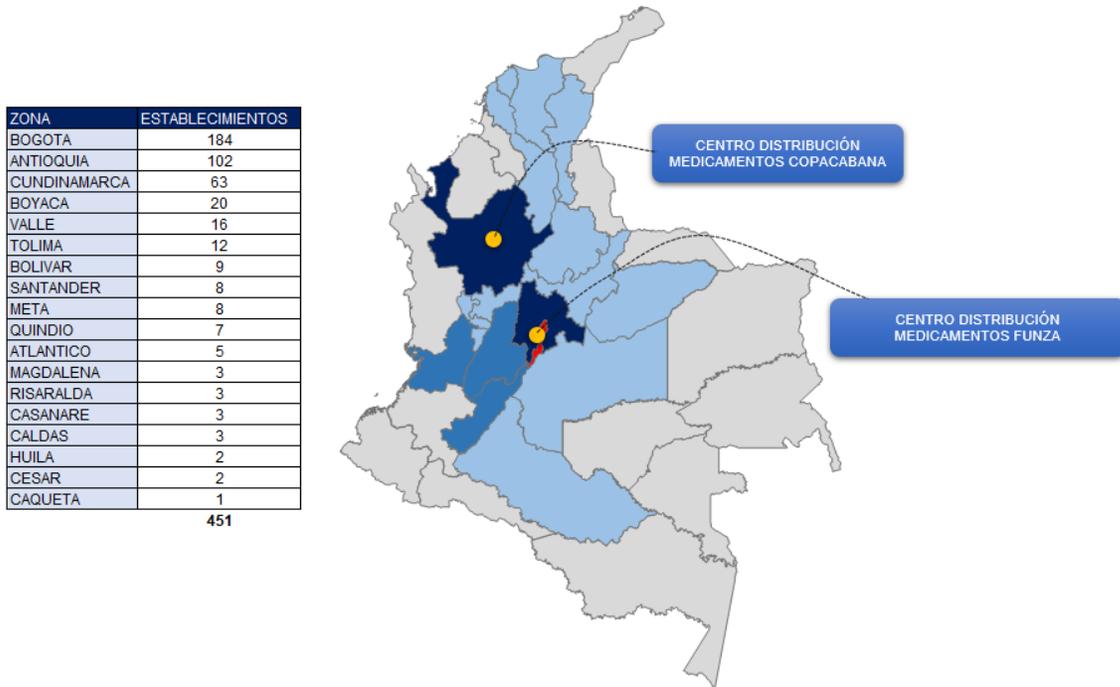


Figura 14: Distribución establecimientos farmacéuticos a Nivel Nacional (elaboración propia)

5.1.2. Identificación de Actores de la red de abastecimiento

A continuación, se describen los actores de la red de abastecimiento y sus respectivas características y particularidades.

Proveedores: Son los encargados de suministrar los medicamentos a los centros de Acopio y distribución. La solicitud a proveedores se realiza mediante la generación de órdenes de compra, transmitidas de forma electrónica, por medio de EDI (Electronic Data Interchange). Estas órdenes de compra tienen citas de entrega fijas de acuerdo con el lead time de entrega establecidos con el proveedor, por lo general el lead time de entrega está sobre los 7 días calendario a partir de la solicitud.

La recepción e ingreso de mercancías se realiza en una cita fija asignada por los Centros de Distribución; todo el proceso operativo de entrada de mercancías se realiza por medio de terminales de Radio Frecuencia o Handheld, mediante la captura de códigos de barras se identifica si el producto corresponde con el solicitado en la orden de compra. En el proceso de entrada de mercancías se realiza validación de lotes, fechas de vencimiento y registros Invima, con el fin de garantizar que el producto cumpla con las políticas de calidad definidas.

Para el caso de estudio se identifican un total de 245 Laboratorios o proveedores, que manejan y entregan medicamentos de las Líneas Comercial e Institucional.

- **Línea Comercial** → Medicamentos de venta libre los cuales se encuentran en las droguerías.
- **Línea Institucional** → Medicamentos no aptos para la venta libre al público, los cuales son entregados mediante un modelo de dispensación, que es la entrega de medicamentos autorizados por las EPS.

Dentro del desarrollo del ejercicio se tomó una muestra de 19.361 órdenes de compra, con el fin de identificar el tiempo promedio de entrega, desde que se realiza la solicitud o montaje de la orden de compra, hasta cuando se realiza la entrega del producto en los Centros de Distribución.

Muestra	281	492	3705	2962	3474	5594	1844	352	100	557
Lead Time (días)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mas de 10
Ponderado	1%	3%	19%	15%	18%	29%	10%	2%	1%	3%

Tabla 6: Tiempos de entregas de Proveedor a Centros de Abastecimiento

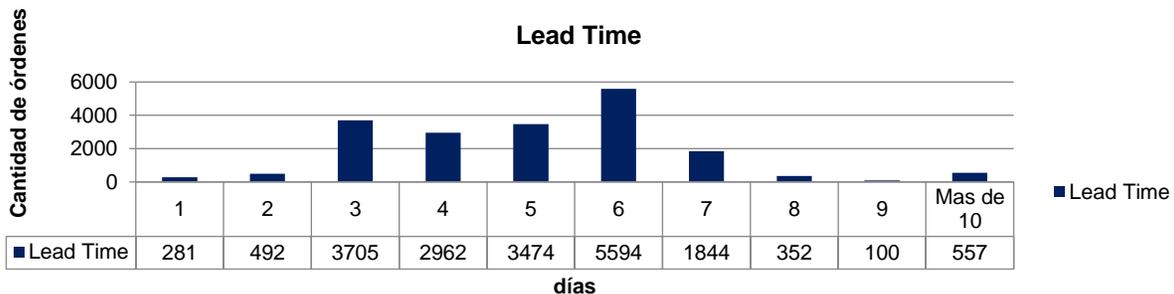


Figura 15: Tiempos de entregas de Proveedor a Centros de Abastecimiento

Donde se puede observar que el 80% de las órdenes de compra son entregadas en un rango entre 3 y 6 días a partir de su solicitud.

Centros de Abastecimiento y Distribución: Son los espacios físicos donde se realizan los procesos de recepción de mercancías, almacenamiento de producto, alistamiento de pedidos o picking, certificación de pedidos y distribución. En los Centros de Distribución se manejan los siguientes procesos:

- **Recepción:** Es un proceso de ejecución diaria, donde mediante una programación de cita fija se realiza la entrega de órdenes de compra por parte de los laboratorios, esta mercancía es validada por parte de los Centros de Distribución, en la validación se verifica:
 - ✓ Las Cantidades entregadas por parte de los Laboratorios este acorde con las solicitadas.
 - ✓ Se verifica la descripción del producto, la cual debe estar acorde con la orden de compra.
 - ✓ Los lotes deben ser visibles y entendibles.
 - ✓ La fecha de vencimiento no debe ser inferior a un año.
 - ✓ Verificación de Registro Invima que se encuentre vigente.
 - ✓ Para el caso de producto refrigerados, se valida que la temperatura se encuentre entre los 2°C y 8°C.
 - ✓ Para productos del Canal Institucional se debe verificar que el producto este marcado con la leyenda “USO INSTITUCIONAL”.

Este proceso es realizado mediante el uso de terminales de Radiofrecuencia, una vez se realiza la inspección e ingreso de la orden de compra se procede a hacer entrega de un Albarán que es el soporte que garantiza la recepción de las mercancías.

- **Almacenamiento:** En este proceso se da la colocación del producto recibido en la estantería del centro de distribución mediante una estrategia de FEFO (primero en vencer – primero en salir), adicionalmente se tiene en cuenta la volumetría y cantidad recibida para que el sistema de información asigne la posición de almacenamiento más adecuada. Los medicamentos con características especiales como los Alto Costo, Controlados, Cadena de frio, son almacenados en zonas o cuartos independientes, los Medicamentos

Institucionales deben tener una zona de almacenamiento exclusiva con respecto a los Medicamentos Comerciales.

Dentro de los Centros de Abastecimiento y Distribución se pueden identificar las siguientes zonas de Almacenamiento.

- ✓ Zonas de Picking: Son zonas con estantería liviana donde se encuentra la mayor parte del portafolio y se tiene la mayor intensidad el proceso de Alistamiento de pedidos.
 - ✓ Zonas de Reserva: Son zonas destinadas para el almacenamiento de productos con un alto volumen.
 - ✓ Cuarto de Controlados: Zona destinada para el almacenamiento de productos regulados por el estado.
 - ✓ Cuarto de Alto Costo: Zona destinada para productos de alto valor y productos susceptible al hurto.
 - ✓ Cuarto de Refrigerados: Zona destinada para los productos que requieren un almacenamiento entre los 2°C y 8°C.
-
- **Alistamiento:** Es el proceso donde se toma el producto de acuerdo con una solicitud de pedido por parte de las Droguerías y Servicios Farmacéuticos, estos pedidos por lo general son de forma automática de acuerdo a los distintos parámetros y modelos de reabastecimiento, en el proceso de alistamiento se da el packing o empaque de pedido de acuerdo con las condiciones técnicas del producto (Comercial, Institucional, Refrigerado, Controlado y Alto Costo), manteniendo la trazabilidad de lotes y fechas de vencimiento, por medio de terminales portátiles.
 - **Certificación:** Este proceso básicamente consiste en inspeccionar el pedido alistado con el fin de garantizar que el pedido va en las condiciones solicitadas tanto de cantidad como de calidad.
 - **Distribución:** Es el proceso donde se da la consolidación de pedidos de acuerdo con un ruteo establecido, con el fin de hacer la entrega oportuna en el menor tiempo posible.

En el desarrollo del levantamiento de información del caso de estudio, se identificaron 2 grandes centros de acopio y distribución ubicados en la ciudad de Bogotá y Medellín respectivamente.

CEDIS 1 → Ubicado en el municipio de Funza (Cundinamarca).

CEDIS 2 → Ubicado en el municipio de Copacabana (Antioquia).

Droguerías y Servicios Farmacéuticos: Son los lugares donde se atiende el cliente final.

- En las droguerías se realiza venta directa al público.
- En los Servicios Farmacéuticos, se realiza la dispensación de medicamentos.

5.1.3. Identificación de tipo de producto, características y condiciones

En los Centros de Distribución se manejan los siguientes tipos de mercancías:

- ✓ **Medicamentos Comerciales:** Medicamentos destinados para la venta directa al público.
- ✓ **Medicamentos Institucionales:** Medicamentos no aptos para la venta al público, entregados por medio del proceso de dispensación a usuarios del sistema de salud.
- ✓ **Medicamentos Refrigerados:** Medicamentos que deben permanecer a temperaturas entre 2° - 8°, existen tanto Comerciales como Institucionales.
- ✓ **Medicamentos Controlados:** Medicamentos regulados por el estado, existen Comerciales como Institucionales.
- ✓ **Medicamentos Alto Costo:** Medicamentos con costo unitario superior a \$ 300.000

5.1.4. Identificación de medios y modos de transporte

Dentro del proceso de caracterización se identificaron 2 modos de transporte (Carga Masiva y Paqueteo)

- **Carga Masiva (CM):** Se realiza por medio de vehículos con capacidad desde 1 tonelada hasta 4.5 toneladas, por medio del diseño de rutas las cuales manejan rangos de entrega de 1 a 15 destinos, de acuerdo con los modelos de negociación con las empresas de transporte. La flota es fidelizada por medio de un modelo de tercerización y se establece un costo total por el flete, independiente del nivel de utilización del vehículo.
- **Paqueteo (PQ):** Modelo de negocio donde se establecen tarifas por pieza movida y entran a evaluarse factores como:
 - ✓ Origen de la carga
 - ✓ Destino de la carga
 - ✓ Peso
 - ✓ Volumen
 - ✓ Valor declarado

5.2. Análisis de información y datos.

En este subcapítulo, se entra en detalle a analizar la conformación de la demanda de medicamentos en función al tipo de medicamento; teniendo presente que se cuenta con una cantidad representativa de generadores de demanda (establecimientos), se propone realizar una clusterización en función a su localización geográfica.

Se tomó como muestra un mes tipo donde se identificó un portafolio de 10.299 productos distintos por tanto a partir de un análisis estadístico en función de la volumetría del producto se establecieron las tipologías de medicamentos.

Este análisis se realizó por medio de un histograma, con los siguientes parámetros de ejecución:

PARAMETROS	
POBLACIÓN	10.274
VALOR MINIMO (VOLUMETRIA)	3,3
VALOR MAXIMO (VOLUMETRIA)	8.701
MAX - MIN	8.698
No. INTERVALOS	30
ANCHO DEL INTERVALO	240

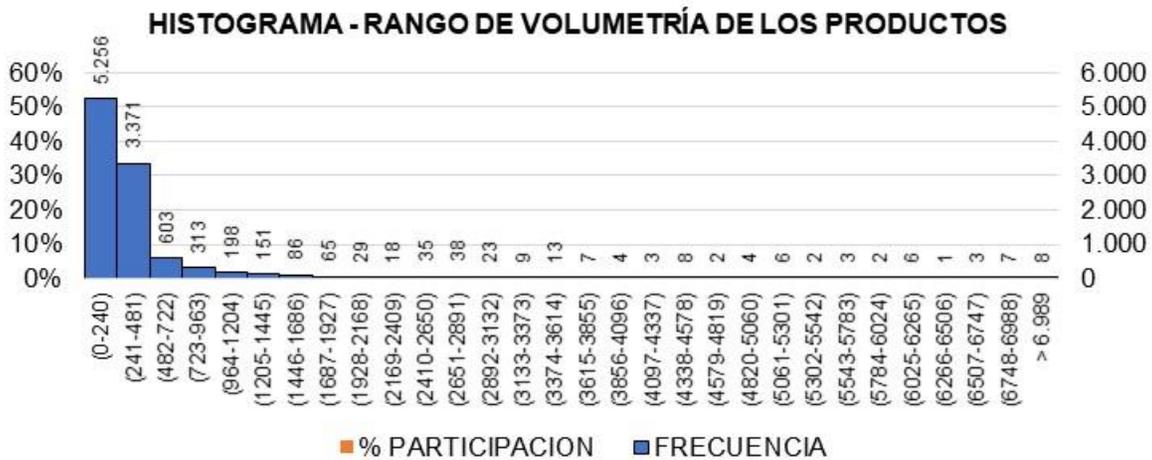


Figura 16: Histograma - Determinar rango de volumetría de los productos.

De acuerdo con los resultados de este histograma se observa que el 51% de los datos tienen una volumetría menor a los 240 cm^3 , el 32.7% tiene una volumetría entre los 241 cm^3 y los 481 cm^3 , un 8.9% tiene una volumetría entre los 482 cm^3 y los 963 cm^3 y un 7.1% tiene una volumetría

por encima a los 964 cm^3 , por lo tanto, se crean 4 grupos de medicamentos de acuerdo con las condiciones volumétricas.

TIPO MEDICAMENTO	DESC. TP MEDICAMENTO
MED001	MEDICAMENTOS (0 A 240 CM3)
MED002	MEDICAMENTOS (241 A 480 CM3)
MED003	MEDICAMENTOS (481 A 963 CM3)
MED004	MEDICAMENTOS (X > 964 CM3)

Tabla 7: Tipos de Medicamentos definidos en función a su volumetría cm^3

De manera adicional se identificaron 2 familias de medicamentos con condiciones especiales que son: medicamentos de cadena de frio, los cuales requieren un almacenamiento entre los 2° - 8° y los medicamentos de tipo alto costo, los cuales tienen un costo unitario por encima a los \$300.000 COP.

TIPO MEDICAMENTO	DESC. TP MEDICAMENTO
MED005	CADENA FRIO
MED006	ALTO COSTO

Tabla 8: Tipos de Medicamentos definidos en función a características especiales (Cadena de Frio - Alto Costo)

Una vez caracterizados los tipos de medicamentos, se proceder a consolidar la demanda de las droguerías en función a las 6 tipologías de medicamentos identificadas.

TIPO MEDICAMENTO	DESC. TP MEDICAMENTO	COSTO. TOTAL	UN	REF	VOLUMEN CM3
MED001	MEDICAMENTOS (0 A 240 CM3)	\$ 36.568.362.453	2.612.465	417.142	291.904.761
MED002	MEDICAMENTOS (241 A 480 CM3)	\$ 17.818.151.828	981.533	186.872	322.594.361
MED003	MEDICAMENTOS (481 A 963 CM3)	\$ 7.369.367.919	361.050	65.988	244.696.010
MED004	MEDICAMENTOS (X > 964 CM3)	\$ 10.182.219.861	328.430	71.612	1.472.807.966
MED005	CADENA FRIO	\$ 19.188.460.924	241.038	14.942	65.441.592
MED006	ALTO COSTO	\$ 15.990.574.104	7.812	4.256	3.742.805
Total general		\$ 107.117.137.089	4.532.328	760.812	2.401.187.495

Tabla 9: Demanda consolidada por tipo de medicamento.

De acuerdo con la información de la **Tabla 9**, el total de unidades promedio mes demandadas por la red es de 4.532.328 que equivale a la sumatoria de las solicitudes mensuales de las droguerías a nivel nacional, la columna referencias muestra la sumatoria de número de veces que se solicita un medicamento en toda la red.

Teniendo presente el caso base donde se identificaron un total de 451 droguerías, se procede a realizar un proceso de clusterización en función a su ubicación geográfica (ciudad / municipio) quedando consolidado en un total de 85 grupos de droguerías como puede ser observado en la **Tabla 11**.

5.3. Caso Base

Se define como Caso Base al modelo de red de distribución logística identificado en la cadena de droguerías establecida dentro del objeto de estudio, donde se identificó que logísticamente cuenta con 2 grandes centros de abastecimiento y distribución; con el fin de hacer comparable el caso base con los modelos arrojados por la optimización, se establecen los mismos costos de operación en función al costo de mantener el inventario, costo de abrir un centro, costos de suministro y costos de envío, según la matriz de origen – destino, bajo un horizonte de análisis de un mes.

CENTRO	NOMBRE	ABASTECIMIENTO	SUMINISTRO	COSTO ABRIR
CD-001	CEDIS FUNZA	1		\$ 195.633.537
CD-002	CEDIS COPACABANA	1		\$ 158.523.538

Tabla 10:Centros de abastecimiento - Caso Base

Para el caso base se identifica que el CEDIS COPACABANA abastece exclusivamente los establecimientos farmacéuticos ubicados en el departamento de Antioquia; y desde el CEDIS FUNZA se abastece Bogotá y resto del país.

DEPARTAMENTO GRUPO	UBICACION GRUPO	GRUPO	TOTAL PUNTOS	T. TRANSPORTE	CEDI	DEMAND A.	LEA D TIME
ANTIOQUIA	APARTADO	GD-001	1	CM	CD-002	11.263	24
ANTIOQUIA	BELLO	GD-002	6	CM	CD-002	161.098	8
ANTIOQUIA	CALDAS	GD-003	1	CM	CD-002	36.297	8
ANTIOQUIA	CARMEN DE VIBORAL	GD-004	1	CM	CD-002	9.436	8
ANTIOQUIA	COPACABANA	GD-005	1	CM	CD-002	29.579	8
ANTIOQUIA	DON MATIAS	GD-006	1	CM	CD-002	5.046	8
ANTIOQUIA	EL RETIRO	GD-007	1	CM	CD-002	1.460	8
ANTIOQUIA	ENVIGADO	GD-008	7	CM	CD-002	123.405	8
ANTIOQUIA	GIRARDOTA	GD-009	1	CM	CD-002	20.754	8
ANTIOQUIA	GUARNE	GD-010	1	CM	CD-002	6.109	8
ANTIOQUIA	ITAGUI	GD-011	4	CM	CD-002	109.622	8
ANTIOQUIA	LA CEJA	GD-012	1	CM	CD-002	29.284	8
ANTIOQUIA	MARINILLA	GD-013	1	CM	CD-002	11.720	12
ANTIOQUIA	MED - CENTRO	GD-014	17	CM	CD-002	540.512	8
ANTIOQUIA	MED - NORTE	GD-015	11	CM	CD-002	232.977	8
ANTIOQUIA	MED - OCCIDENTE	GD-016	15	CM	CD-002	275.069	8
ANTIOQUIA	MED - SUR	GD-017	17	CM	CD-002	190.828	8
ANTIOQUIA	RIONEGRO	GD-018	10	CM	CD-002	95.722	8
ANTIOQUIA	SABANETA	GD-019	3	CM	CD-002	30.675	8
ANTIOQUIA	SANTA ROSA DE OSOS	GD-020	1	CM	CD-002	3.037	12
ANTIOQUIA	YARUMAL	GD-021	1	CM	CD-002	1.818	12
ATLANTICO	BARRANQUILLA	GD-022	5	PQ	CD-001	19.991	72
BOGOTA	BOG - NORTE 1	GD-023	15	CM	CD-001	131.776	12
BOGOTA	BOG - NORTE 2	GD-024	24	CM	CD-001	198.567	12
BOGOTA	BOG - NORTE 3	GD-025	22	CM	CD-001	124.278	12
BOGOTA	BOG - OCCIDENTE 1	GD-026	22	CM	CD-001	178.353	12
BOGOTA	BOG - OCCIDENTE 2	GD-027	20	CM	CD-001	117.342	12
BOGOTA	BOG - OCCIDENTE 3	GD-028	22	CM	CD-001	237.103	12
BOGOTA	BOG - ORIENTE	GD-029	22	CM	CD-001	118.106	12

BOGOTA	BOG - SUR 1	GD-030	14	CM	CD-001	144.041	12
BOGOTA	BOG - SUR 2	GD-031	21	CM	CD-001	139.844	12
BOGOTA	BOG - SUR 3	GD-032	2	CM	CD-001	49.478	12
BOLIVAR	CARTAGENA	GD-033	9	PQ	CD-001	19.186	72
BOYACA	CHIQUINQUIRA	GD-034	2	CM	CD-001	9.994	24
BOYACA	DUITAMA	GD-035	4	CM	CD-001	34.922	24
BOYACA	MONIQUEIRA	GD-036	1	CM	CD-001	1.840	24
BOYACA	PAIPA	GD-037	1	CM	CD-001	6.526	24
BOYACA	SOGAMOSO	GD-038	4	CM	CD-001	45.047	24
BOYACA	TUNJA	GD-039	6	CM	CD-001	30.704	24
BOYACA	VILLA DE LEYVA	GD-040	1	CM	CD-001	4.302	24
BOYACA	VILLAPINZON	GD-041	1	CM	CD-001	829	24
CALDAS	MANIZALES	GD-042	3	CM	CD-001	12.621	24
CAQUETA	FLORENCIA	GD-043	1	CM	CD-001	11.397	24
CASANARE	YOPAL	GD-044	3	CM	CD-001	15.060	24
CESAR	VALLEDUPAR	GD-045	2	PQ	CD-001	1.875	72
CUNDINAMARCA	ANAPOIMA	GD-046	1	CM	CD-001	4.238	12
CUNDINAMARCA	CAJICA	GD-047	4	CM	CD-001	17.792	3
CUNDINAMARCA	CHIA	GD-048	8	CM	CD-001	38.915	3
CUNDINAMARCA	COTA	GD-049	1	CM	CD-001	4.606	12
CUNDINAMARCA	FACATATIVA	GD-050	4	CM	CD-001	20.569	12
CUNDINAMARCA	FUNZA	GD-051	3	CM	CD-001	39.130	3
CUNDINAMARCA	FUSAGASUGA	GD-052	5	CM	CD-001	62.052	12
CUNDINAMARCA	GIRARDOT	GD-053	5	CM	CD-001	56.750	12
CUNDINAMARCA	GUADUAS	GD-054	1	PQ	CD-001	1.600	48
CUNDINAMARCA	LA CALERA	GD-055	1	CM	CD-001	1.444	12
CUNDINAMARCA	LA MESA	GD-056	2	CM	CD-001	16.391	12
CUNDINAMARCA	MADRID	GD-057	1	CM	CD-001	7.334	3
CUNDINAMARCA	MESITAS	GD-059	2	CM	CD-001	3.434	12
CUNDINAMARCA	MOSQUERA	GD-060	1	CM	CD-001	5.401	3
CUNDINAMARCA	PACHO	GD-061	2	CM	CD-001	2.309	12
CUNDINAMARCA	RICAUORTE	GD-062	1	CM	CD-001	5.930	12
CUNDINAMARCA	SOACHA	GD-063	2	CM	CD-001	96.221	12
CUNDINAMARCA	SUESCA	GD-064	11	PQ	CD-001	3.880	36
CUNDINAMARCA	TABIO	GD-065	1	PQ	CD-001	2.101	24
CUNDINAMARCA	TOCANCIPA	GD-066	1	CM	CD-001	3.454	12
CUNDINAMARCA	UBATE	GD-067	1	CM	CD-001	3.057	12
CUNDINAMARCA	VILLETEA	GD-068	1	CM	CD-001	8.149	12
CUNDINAMARCA	ZIQUAIRA	GD-069	2	CM	CD-001	36.314	12
HUILA	NEIVA	GD-070	4	CM	CD-001	58.005	24
MAGDALENA	SANTA MARTA	GD-071	2	PQ	CD-001	5.754	72
META	ACACIAS	GD-072	3	CM	CD-001	3.020	24
META	RESTREPO	GD-073	1	CM	CD-001	2.419	24
META	VILLAVICENCIO	GD-074	1	CM	CD-001	43.703	24
QUINDIO	ARMENIA	GD-075	6	CM	CD-001	63.022	24
RISARALDA	PEREIRA	GD-076	7	CM	CD-001	6.133	24
SANTANDER	BARRANCABERMEJA	GD-077	3	CM	CD-001	5.770	24
SANTANDER	BUCARAMANGA	GD-078	1	CM	CD-001	57.921	24
SANTANDER	FLORIDABLANCA	GD-079	6	CM	CD-001	11.018	24
TOLIMA	ESPINAL	GD-080	1	CM	CD-001	20.770	12
TOLIMA	IBAGUE	GD-081	3	CM	CD-001	95.612	12
TOLIMA	MELGAR	GD-058	7	CM	CD-001	2.272	12
VALLE	BUGA	GD-082	1	PQ	CD-001	5.774	48
VALLE	CALI	GD-083	13	CM	CD-001	127.270	24
VALLE	CARTAGO	GD-084	1	CM	CD-001	1.232	24
VALLE	PALMIRA	GD-085	1	CM	CD-001	2.669	24

Tabla 11: Configuración red logística - Caso Base

Bajo esta configuración de la red, los costos totales están alrededor de los \$1.248.600.300 con un lead time de entrega de 12.31 horas.

Modelo	Costo abrir	Costo Mantener	Costo enviar	Costo Suministrar	Costo Total	Lead Time Red
Caso Base	\$ 354.157.075	\$ 643.143.684	\$ 251.299.541	\$ 0	\$ 1.248.600.300	12,31

Tabla 12: Costo total Caso Base.

5.4. Oportunidades de Mejora

Dentro de la etapa cualitativa, se identifica la necesidad de realizar un análisis a la red de abastecimiento actual, teniendo presente:

- Tiempos de entrega elevados que se tienen para algunas regiones del país.
- Necesidad de tener tiempos de respuesta ágiles, cuando se presente ruptura de inventario en los establecimientos farmacéuticos y en los Centros de distribución. Una vez llega el producto a los Cedis, estos deben salir de inmediato a distribución pues se debe llegar en menos de 36 horas, teniendo presente que, bajo el modelo actual, en los procesos de recepción del pedido, alistamiento, certificación y empaque, se tardan aproximadamente 24 horas; por lo cual el tiempo máximo destinado para procesos de transporte serían de 12 horas.
- Costos logísticos elevados, al no contar con una metodología de diseño de red de abastecimiento.
- Desde un modelo de negocio se ve la necesidad de evaluar la apertura de nuevas plataformas logísticas, en regiones con alta demanda como lo puede ser la zona del Valle y el Eje Cafetero.

Desde el análisis cuantitativo se identifica que un total 107 establecimientos son entregados en 24 horas o más (76 establecimientos en 24 horas, 11 establecimientos en 36 horas, 2 establecimientos en 48 horas y 18 en 72 horas)

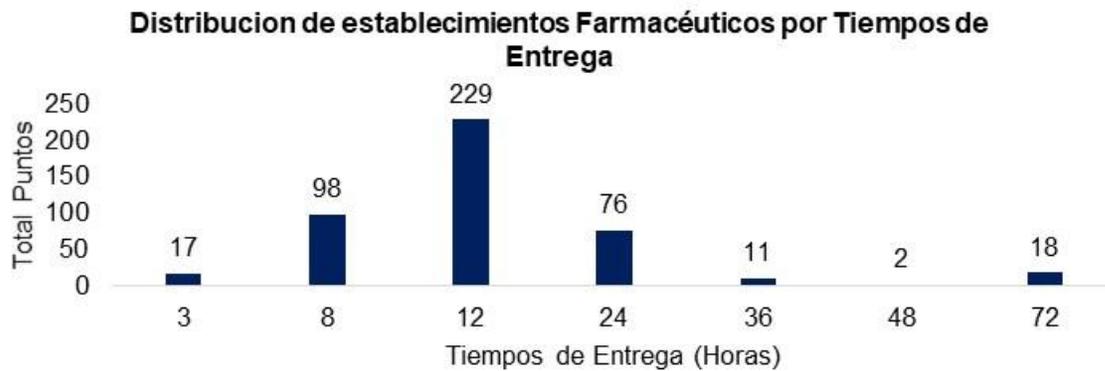


Figura 17: Distribución de establecimientos Farmacéuticos por Tiempos de Entrega

Se estiman que los costos logísticos totales del modelo del caso base, están aproximadamente en \$1.248.600.300 al mes, con un tiempo de entrega total de la red en 12,31 horas, por lo cual se requiere evaluar si bajo estos costos se pueden tener modelos con menor tiempo de entrega o bajo esos mismos tiempos de entrega se pueden minimizar los costos totales.

Bajo estas consideraciones es necesario realizar un análisis completo de la red de abastecimiento con el fin de poder determinar las fronteras donde se tiene el modelo abastecimiento con menor costo y el modelo de abastecimiento con menor tiempo; y así poder proponer una serie de posibles configuraciones que se puedan ajustar a la necesidad de negocio.

6.Fase Propositiva

En este capítulo se desarrolla toda la propuesta de solución al problema planteado, tomando como base el levantamiento de información realizado en la Fase Exploratoria; dentro de este capítulo se tienen 4 objetivos.

El primero objetivo es realizar la propuesta conceptual de la configuración de la red de abastecimiento de productos farmacéuticos enfocados en tener diferentes alternativas que le apunten a la disminución de tiempos de respuesta y costos.

El segundo objetivo es determinar las posibles localizaciones de las plataformas de abastecimientos propuestos en el diseño conceptual.

El tercer objetivo, es realizar una estructuración de costos, los cuales serán parámetros de entrada para el desarrollo del modelo de optimización a partir de una metodología de diseño de plataformas de abastecimiento; se deben determinar los costos fijos y variables asociados a la apertura de una nueva locación, los costos de envío desde las plataformas de abastecimiento hacia los establecimientos farmacéuticos y los costos de suministro internos de la red.

El cuarto objetivo es el desarrollo y ejecución del modelo de optimización, donde se tiene como resultado una serie configuraciones de red de abastecimiento, en función de costos y tiempos de respuesta.

6.1. Propuesta configuración de la red de abastecimiento.

De acuerdo con la Fase Exploratoria se identificó que la estructura de la Red de abastecimiento del caso base de estudio está conformada por Proveedores, Centro de Abastecimiento y Establecimientos farmacéuticos (Droguerías y Servicios Farmacéuticos); desde el entorno empresarial se ha discutido la necesidad de implementar diferentes tipos de plataformas de abastecimiento como lo puede ser Nodos de abastecimiento y plataformas CrossDocking por lo tanto desde el desarrollo del trabajo se propone un diseño conceptual partiendo de la definición organizacional y evaluando su posible configuración a partir de la optimización de costos y tiempos de respuesta.

El diseño conceptual de la red de abastecimiento propuesta se detalla en la **Figura 18**.

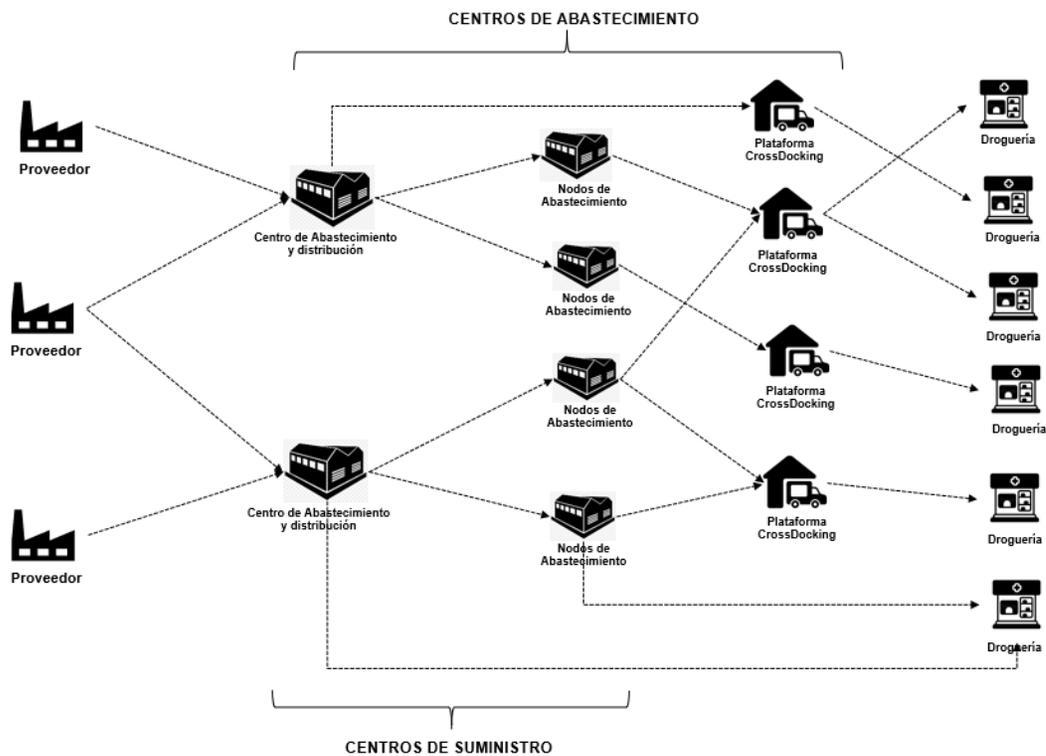


Figura 18: Propuesta configuración red de abastecimiento para productos farmacéuticos (elaboración propia)

Los actores de la red de abastecimiento se describen a continuación:

- Proveedores: Encargados de realizar el suministro de medicamentos a los Centros de Abastecimiento y Distribución.
- Centros de abastecimiento y distribución: Plataforma logística con alta capacidad de almacenamiento, donde se define una política de 30 días de inventario, con capacidad de realizar suministro a cualquier actor de la red (Nodos de Abastecimiento, Plataforma CrossDocking, Droguerías)
- Nodos de Abastecimiento: A diferencia de los Centros de abastecimiento, cuentan con una política de inventarios de solo 15 días, ubicados de manera estratégica para llegar en un menor tiempo a las droguerías, su suministro es realizado únicamente por los Centros de Abastecimiento, por tanto, no tienen relacionamiento directo con la red de proveedores, a nivel de funciones solo realizan procesos de recepción, almacenamiento y distribución, no cuenta con la posibilidad de realizar procesos de logística de reversa y almacenamiento de devoluciones.
- Plataformas CrossDocking: Son espacios destinados únicamente para realizar el destelle, separación por rutas eficientes y entregas en un menor tiempo a las droguerías, no cuenta con espacio destinado para el almacenamiento de medicamentos, por tanto, únicamente realiza procesos de descargue del vehículo proveniente de los Centros de abastecimiento o los nodos de abastecimiento y distribución final o entrega de segunda milla.
- Droguería: Es el último eslabón en la red de suministro, el cual realiza la venta, dispensación al usuario final.

PLATAFORMA DE ABASTECIMIENTO	PROCESO LOGISTICO						
	RECEPCION DE PROVEEDORES	ALMACENAMIENTO	POLITICA DE INVENTARIOS	ALISTAMIENTO	CERTIFICACION	TRANSPORTE Y DISTRIBUCION	LOGISTICA REVERSA
CENTROS DE ABASTECIMIENTO Y DISTRIBUCION	X	X	30 DIAS	X	X	X	X
NODOS DE ABASTECIMIENTO Y DISTRIBUCION		X	15 DIAS	X	X	X	
PLATAFORMA CROSSDOCKING			0 DIAS			X	

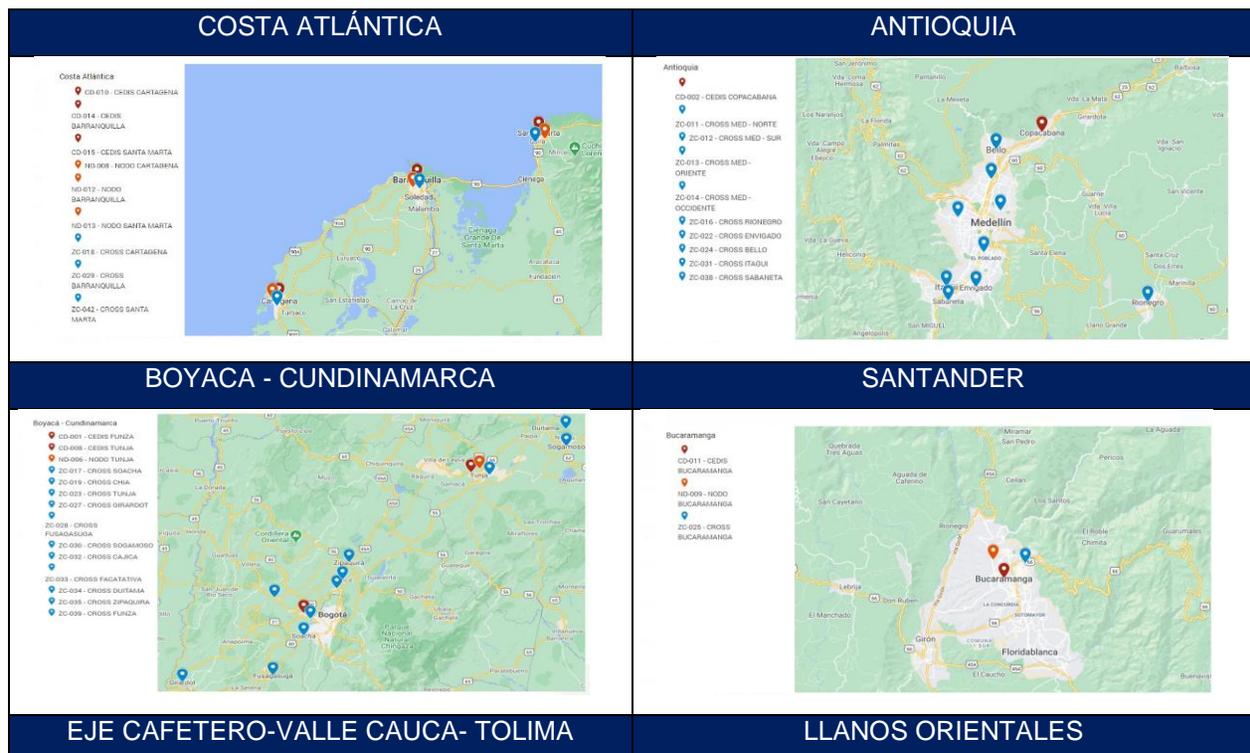
Tabla 13: Procesos logísticos por plataforma de abastecimiento.

6.2. Determinación de las posibles Plataformas de Abastecimiento.

De acuerdo con esta definición de red de abastecimiento para productos farmacéuticos, se procede a identificar las posibles Plataformas de Abastecimiento en función a la localización y consolidación de las droguerías, de la siguiente manera:

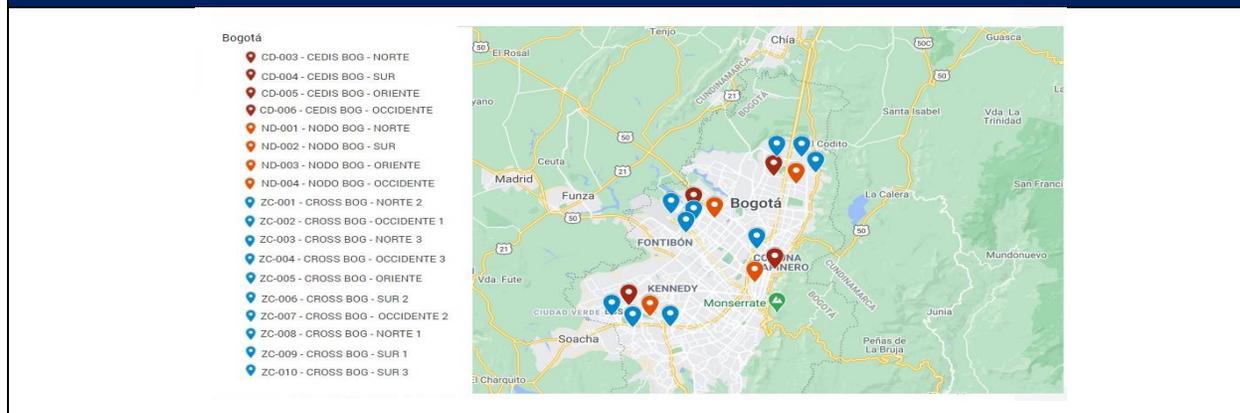
- Centros de abastecimiento y distribución: Se proponen en las ciudades principales (Bogotá, Cali, Medellín, Pereira, Armenia, Ibagué, Villavicencio, Tunja, Bucaramanga, Santa Marta, Barranquilla, Cartagena)
- Nodos de abastecimiento y distribución: Se proponen en las ciudades principales (Bogotá, Cali, Medellín, Pereira, Armenia, Ibagué, Villavicencio, Tunja, Bucaramanga, Santa Marta, Barranquilla, Cartagena)
- Plataformas CrossDocking: Se proponen tanto en ciudades principales, secundarias y municipios donde se tengan más de 3 droguerías.

Presentando una distribución de la siguiente manera:





BOGOTÁ



DISTRIBUCIÓN TOTAL

DEPARTAMENTO	DROGUERIAS	CD	ND	ZC
ANTIOQUIA	102	1	0	9
ATLANTICO	5	1	1	1
BOGOTA	184	4	4	10
BOLIVAR	9	1	1	1
BOYACA	20	1	1	3
CALDAS	3	0	0	1
CAQUETA	1	0	0	0
CASANARE	3	0	0	1
CESAR	2	0	0	0
CUNDINAMARCA	63	1	0	8
HUILA	2	0	0	0
MAGDALENA	3	1	1	1
META	8	1	1	1
QUINDIO	7	1	1	1
RISARALDA	3	1	1	1
SANTANDER	8	1	1	1
TOLIMA	12	1	1	2
VALLE	16	1	1	1
Total general	451	16	14	42



Tabla 14: Propuesta de plataformas de abastecimiento por Ciudad / Municipio

De acuerdo con los posibles puntos de abastecimiento, se establece un total de 72 posibles puntos de abastecimiento conformados por 16 Centros de abastecimiento y distribución, 14 Nodos de abastecimiento y 42 Plataformas CrossDocking. Dentro del desarrollo del ejercicio los posibles Centros de abastecimientos serán denotados con el prefijo CD, y van desde el CD-001 al CD-016, los Nodos de abastecimiento con el prefijo ND y van desde el ND-001 al ND-014, y las Plataformas CrossDocking con el prefijo ZC y van desde el ZC-001 al ZC-042.

6.3. Estructura de Costos

Una vez se identificada la configuración que debe tener cada plataforma de abastecimiento, en función a la posible demanda a atender, se establece un modelo de costos que se desagrega entre costos fijos y costos variables, evaluados de manera mensual.

Los costos fijos están atados a los costos que se deben incurrir por realizar apertura de las plataformas de abastecimiento, por el contrario, los costos variables están relacionados con la demanda que se atiende desde cada plataforma, por tanto, de acuerdo con los elementos identificados que están dentro del diseño de las plataformas de abastecimiento se clasificaron los costos de la siguiente de la siguiente manera:

	CONCEPTO	REFERENCIA DE COSTOS	FUENTE
COSTOS FIJOS	ARRENDAMIENTO (m2)	Costo por m ²	Finca Raíz - M2
	ADECUACIONES CIVILES E INFRAESTRUCTURA	Costo por m ²	Caso de estudio
	PUNTOS ELECTRICOS - VOZ Y DATOS	Costo por m ²	Caso de estudio
	CUARTO FRIO	Costo por m ²	Caso de estudio
	OBRA CIVIL	Costo por m ²	Caso de estudio
	RED CONTRA INCENDIOS	Costo por m ²	Caso de estudio
	SUPLENCIA ELECTRICA	Costo por m ²	Caso de estudio
	OTROS CONCEPTOS		
	ASEO	Costo por persona	Caso de estudio
	SEGURIDAD	Costo por persona	Caso de estudio
	AGUA	Costo por m ²	Caso de estudio
	LUZ	Costo por m ²	Caso de estudio
	ARRENDAMIENTO MAQUINARIA Y EQUIPO	Costo por unidad	Caso de estudio
	POLIZAS Y SEGUROS	Tasa Porcentual sobre el valor del inventario	Caso de estudio
	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	Costo por m ²	Caso de estudio
COSTOS VARIABLES	POSICIONES DE ALMACENAMIENTO	Costo por unidad	Caso de estudio
	DOTACIONES	Costo por unidad	Caso de estudio
	ESTIBAS PLASTICAS	Costo por unidad	Caso de estudio
	CONTENEDORES PLASTICOS (40*30*60)	Costo por unidad	Caso de estudio
	CONTENEDORES PLASTICOS (30*30*30)	Costo por unidad	Caso de estudio
	NEVERAS PLASTICAS	Costo por unidad	Caso de estudio
	TERMINALES RADIOFRECUENCIA	Costo por unidad	Caso de estudio
	CARROS DE PICKING	Costo por unidad	Caso de estudio
	EQUIPOS DE COMPUTO	Costo por unidad	Caso de estudio
	ESTRUCTURA DE PERSONAL	Costo por persona	Caso de estudio

Tabla 15: Costos fijos y Costos Variables - Plataformas de abastecimiento

Dentro de las estructuras de costos de la red también se deben tener presente los costos asociados al envío desde las plataformas de abastecimiento hacia los establecimientos

farmacéuticos y los costos de suministro que hacen referencias a los costos asociados a realizar la reposición de inventario.

	CONCEPTO	REFERENCIA DE COSTOS	FUENTE
COSTOS DE ENVÍO	COSTO DE ENVÍO CARGA MASIVA	Costo por unidad	SICE-TAC - Caso de estudio
	COSTO DE ENVÍO CARGA PAQUETEO	Costo por unidad	Empresa Paqueteo - Caso de estudio
	COSTO DE ENVÍO CARGA AEREO	Costo por unidad	Empresa Paqueteo - Caso de estudio
COSTOS DE SUMINISTRO	COSTO DE ENVÍO CARGA MASIVA	Costo por unidad	SICE-TAC - Caso de estudio
	COSTO DE ENVÍO CARGA PAQUETEO	Costo por unidad	Empresa Paqueteo - Caso de estudio
	COSTO DE ENVÍO CARGA AEREO	Costo por unidad	Empresa Paqueteo - Caso de estudio

Tabla 16: Costo de Envío y Suministro - Plataformas de abastecimiento

Con el fin de tener los valores de entrada que requiere el modelo de optimización, se obtuvieron los costos a partir de diferentes fuentes de información, principalmente a partir del análisis de la información suministrada por el caso base; para estimar el costo por metro cuadrado se obtuvo la información de páginas inmobiliarias especializadas, con respecto a los costos de envío entre los diferentes orígenes y destinos, la información fue obtenida desde el caso base y desde el Sistema de Información de Costos Eficientes para el Transporte Automotor de Carga SICE-TAC. (Ministerio de Transporte, 2020)

Para entender la formulación desarrollada en este capítulo, a continuación se describen los índices y variables a manejar:

Índice / Variable	DESCRIPCIÓN
c_{ab_i}	Costo fijo asociado a abrir un Centro de Abastecimiento i
$Costo_{m^2}$	Costo fijo asociado a al arrendamiento por abrir un Centro de Abastecimiento i
Tm_i	Total m^2 requeridos para la plataforma i
CTm_i	Costo m^2 para la plataforma i
$Costo_{obra}$	Costo fijo asociado a la amortización por abrir un Centro de Abastecimiento i
EVD	Costo por m^2 implementación eléctrico – voz y datos
CCF	Costo por m^2 implementación cuarto frío
COC	Costo por m^2 implementación obra civil
$CRCI$	Costo por m^2 implementación red contra incendios

<i>CSE</i>	<i>Costo por m² implementación suplencia eléctrica</i>
Costo_{otros}	<i>Costo fijo asociado a otros concepto por abrir un Centro de Abastecimiento i</i>
<i>CAS</i>	<i>Costo por persona servicio de aseo</i>
<i>CSST</i>	<i>Costo por persona servicio de seguridad</i>
<i>SPSA</i>	<i>Costo por m² servicios públicos (agua)</i>
<i>SPSL</i>	<i>Costo por m² servicios públicos (luz)</i>
<i>PL</i>	<i>Tasa porcentual, seguro de mercancías</i>
<i>VD_i</i>	<i>Valor de la demanda atendida en la plataforma i</i>
<i>CTMo</i>	<i>Costo mensual alquiler montacarga eléctrica</i>
<i>CTE</i>	<i>Costo mensual alquiler estibador hidráulico</i>
<i>MP</i>	<i>Costo por m² mantenimiento preventivo</i>
<i>TU_{kei}</i>	<i>Posiciones para el tipo de producto k del tipo e en la plataforma i</i>
<i>CU_e</i>	<i>Costo unitario del tipo de posición e</i>
<i>%TP_{ki}</i>	<i>Distribución del costo de posiciones por producto k en plataforma i</i>
<i>%TD_{ki}</i>	<i>Distribución del costo de dotaciones para el producto k en plataforma i</i>
<i>C_{almacenamiento_i}</i>	<i>Costo Posiciones de almacenamiento en la plataforma i</i>
<i>U_{ei}</i>	<i>Total de ubicaciones en función de lote del tipo de estantería e en la plataforma i</i>
<i>C_{p_e}</i>	<i>Costo unitario posición de almacenamiento del tipo e</i>
<i>C_{dotaciones_i}</i>	<i>Costo dotaciones la plataforma i</i>
<i>CCP_k</i>	<i>Costo unitario contenedor Plástico – Nevera para el tipo de producto k</i>
<i>CTR</i>	<i>Costo unitario Terminal dse Radiofrecuencia</i>
<i>CRP</i>	<i>Costo unitario Carro de Picking</i>
<i>C_{nómina_i}</i>	<i>Costo de nómina para la plataforma i</i>
<i>CN_n</i>	<i>Costo unitario por cada tipo de posición de nómina n</i>
<i>PT_{in}</i>	<i>Planta total asignada a la plataforma i del tipo n</i>
<i>D_{ik}</i>	<i>Demanda atendida desde i para el producto k</i>
<i>Arcos</i>	<i>Total de combinaciones para envío desde la plataforma i hacia los grupos j</i>
T. Plataformas	<i>Cantidad total de plataformas de abastecimiento</i>
T. Grupo Droguerías	<i>Cantidad total de grupo de droguerías.</i>
T. Envío	<i>Tipos de modelo de envío.</i>

Fo_r	Factor de ocupación para la zona r
r	Zona o ubicación geográfica del establecimiento j
Pz_r	Número total de piezas a transportar de la zona r
CV	Capacidad del vehículo
$c_{en_{ijkt}}$	Costo de enviar desde i hacia j para el producto k por el medio t
f_{ij}	Costo del flete, vehículo completo para enviar desde el Cedis i al punto j
\widehat{un}_k	Estimado de unidades que del producto k que estan contenidas en un contenedor
VD_{jk}	Valor declarado de la mercancía proveniente del punto j del tipo de producto k
CP_{jk}	Costo total de los productos del grupo j para el tipo de producto k
Ef_{jk}	Total de contenedores por frecuencia del grupo j para el tipo de producto k
Cpq_{ijk}	Valor del flete desde el Centro i hacia el punto j para el contenedor k
ck_{ji}	Valor por kilo movido desde el Centro i hacia el punto j
S	Seguro de mercancías
$Arcos_{Sumi}$	Total de combinaciones para suministro
T. Suministradores	Cantidad total de plataformas de suministro.
$c_{su_{mikt}}$	Costo de suministro desde m a i para el producto k por medio t .
$c_{en_{mikt}}$	Costo de envío desde m a i para el producto k por medio t
$c_{ma_{mk}}$	Costo de mantener el inventarios en m para el producto k .

Tabla 17: Índices y Variables – Estructura de Costos

6.3.1. Costos Fijos

Dentro de los costos fijos asociados para realizar la apertura de una nueva plataforma encontramos los costos de arrendamiento, adecuaciones del espacio y los conceptos fijos de operación.

6.3.1.1. Arrendamiento metros cuadrados de almacenamiento.

El costo de arrendamiento se estima a partir de la necesidad de metros cuadrados y un costo promedio de arrendamiento; pero el costo del metro cuadrado puede variar dependiendo la localización por tanto se tomó una muestra a partir de la información disponible en páginas especializadas en venta y arrendamiento de bodegas como lo son (Finca raíz y Metro cuadrado).(FINCA RAIZ, 2020)(METRO CUADRADO, 2020)

Con la muestra tomada, se determina el costo estimado de arrendamiento por metro cuadrado como el promedio ponderado de la muestra por cada ubicación geográfica, este promedio ponderado es igual a la sumatoria del valor de arrendamiento en la ubicación sobre la sumatoria de los metros cuadrados.

UBICACION	MUESTRA	VALOR TOTAL ARRIENDO	TOTAL M2	VALOR PROMEDIO M2	Mín. de VALOR M2	Máx. de VALOR M2_2	PROMEDIO PONDERADO M2 CTm_i
ARMENIA	2	\$ 23.000.000	1.915	\$ 11.729	\$ 10.088	\$ 13.369	\$ 12.010
BARRANQUILLA	4	\$ 113.567.820	7.347	\$ 15.627	\$ 14.000	\$ 19.167	\$ 15.458
BELLO	4	\$ 196.158.000	13.831	\$ 14.720	\$ 12.000	\$ 21.881	\$ 14.182
BOGOTA	15	\$ 656.144.062	31.312	\$ 22.355	\$ 17.857	\$ 36.567	\$ 20.955
BUCARAMANGA	6	\$ 216.977.000	10.886	\$ 15.318	\$ 9.677	\$ 26.484	\$ 19.932
CAJICA	4	\$ 43.705.255	2.976	\$ 15.310	\$ 13.514	\$ 18.000	\$ 14.686
CALI	4	\$ 120.800.000	8.845	\$ 13.302	\$ 12.000	\$ 15.909	\$ 13.657
CARTAGENA	5	\$ 118.027.767	7.621	\$ 15.414	\$ 13.000	\$ 17.603	\$ 15.487
CHIA	5	\$ 68.500.000	4.006	\$ 20.249	\$ 11.923	\$ 28.409	\$ 17.099
COPACABANA	8	\$ 200.727.700	11.470	\$ 17.674	\$ 15.710	\$ 21.420	\$ 17.500
DUITAMA	1	\$ 8.000.000	520	\$ 15.385	\$ 15.385	\$ 15.385	\$ 15.385
FACATATIVA	4	\$ 24.931.000	1.787	\$ 14.292	\$ 12.500	\$ 16.667	\$ 13.951
FUNZA	15	\$ 1.395.724.555	86.158	\$ 16.249	\$ 10.972	\$ 18.048	\$ 16.200
FUSAGASUGA	3	\$ 12.300.000	530	\$ 30.545	\$ 13.636	\$ 43.000	\$ 23.208
GIRARDOT	1	\$ 15.000.000	560	\$ 26.786	\$ 26.786	\$ 26.786	\$ 26.786
IBAGUE	3	\$ 21.500.000	2.323	\$ 9.393	\$ 9.000	\$ 10.000	\$ 9.255
MANIZALES	5	\$ 40.004.520	3.025	\$ 12.766	\$ 9.836	\$ 16.660	\$ 13.225
MEDELLIN	13	\$ 464.683.000	21.448	\$ 23.077	\$ 15.000	\$ 33.929	\$ 21.666
PEREIRA	3	\$ 78.655.000	6.077	\$ 13.775	\$ 11.324	\$ 15.000	\$ 12.943
RIONEGRO	6	\$ 158.500.000	9.416	\$ 16.675	\$ 12.794	\$ 18.750	\$ 16.833
SANTA MARTA	5	\$ 72.654.250	5.795	\$ 14.874	\$ 10.476	\$ 22.400	\$ 12.537
SOGAMOSO	1	\$ 2.500.000	302	\$ 8.278	\$ 8.278	\$ 8.278	\$ 8.278
TUNJA	3	\$ 14.373.500	1.270	\$ 11.283	\$ 10.976	\$ 11.500	\$ 11.318
VILLAVICENCIO	5	\$ 96.500.000	4.804	\$ 19.636	\$ 12.500	\$ 30.000	\$ 20.087
YOPAL	3	\$ 15.000.000	1.316	\$ 10.841	\$ 7.955	\$ 14.151	\$ 11.398
ZIPAQUIRA	8	\$ 77.516.000	5.791	\$ 14.389	\$ 9.828	\$ 25.000	\$ 13.386

Tabla 18: Costo mensual de arrendamiento por metro cuadrado.

Por lo tanto, el costo de arrendamiento estimado por cada plataforma de abastecimiento se denota como el producto entre el costo por metro cuadrado y la necesidad de metros cuadrados; esta se expresa de la siguiente manera:

$$Costo_{m^2} = Tm_i * CTm_i$$

6.3.1.2. Adecuaciones civiles e infraestructura.

Para tener un dato estimado de los costos incurridos por el desarrollo de la obra civil y temas de infraestructura, se tomaron unos precios de referencia con el fin de tener un valor aproximado por metro cuadrado. Adicionalmente las adecuaciones civiles son inversiones de un alto impacto, por lo tanto, con el fin de evaluar el costo fijo de abrir estos valores se deben amortizar, para este caso se utilizó un periodo de amortización de 60 meses.

Estas adecuaciones aplican únicamente para las plataformas de abastecimiento de tipo Centro de abastecimiento y Nodo de abastecimiento.

CONCEPTO	VALOR DE REFERENCIA	M2 DE REFERENCIA	COSTO POR M2	TIEMPO AMORTIZACIÓN	EXPRESIÓN
PUNTO ELECTRICOS - VOZ Y DATOS	\$ 586.310.698	6.202	94.536	60	EVD
CUARTO FRIO	\$ 606.527.594	150	4.043.517	60	CCF
OBRA CIVIL	\$ 369.096.768	6.202	59.513	60	COC
RED CONTRA INCENDIOS	\$ 717.115.211	6.202	115.626	60	CRCI
SUPLENCIA ELECTRICA	\$ 93.500.000	6.202	15.076	60	CSE

Tabla 19: Valor de referencia - obra civil por metro cuadrado

De acuerdo con los valores y definiciones de referencia, los costos asociados a la obra civil se expresan de la siguiente manera:

$$\text{Costo}_{obra} = Tm_i(EV + COC + CRCI + CSE) + (Maf_{ei} * CCF)$$

6.3.1.3. Otros conceptos.

Dentro de otros conceptos tenemos los costos asociados a servicios de aseo, seguridad, servicios públicos, arrendamiento de maquinaria – equipo y pólizas; estos conceptos pueden ser calculados en función a los metros cuadrados de la plataforma, el valor del inventario o la cantidad de recursos o elementos necesarios como se puede identificar en la siguiente tabla.

TIPO SERVICIO	VALOR DE REFERENCIA	UNIDAD	EXPRESIÓN
ASEO	\$ 1.723.680	<i>por persona</i>	CAS
SEGURIDAD	\$ 2.177.280	<i>por persona</i>	CSST
SERVICIO AGUA	327	<i>por m²</i>	SPSA
SERVICIO LUZ	1.863	<i>por m²</i>	SPSL
POLIZA	0,020%	<i>por valor de inventario</i>	PL
MONTACARGA ELECTRICA	\$ 2.750.000	<i>por unidad</i>	CTMo
ESTIBADOR HIDRAULICO	\$ 110.000	<i>por unidad</i>	CTE
MANTENIMIENTO PREVENTIVO	\$ 1.000	<i>por m²</i>	MP

Tabla 20: Valor mensual de referencia por tipo de servicio.

Los costos totales por otros conceptos pueden ser expresados de la siguiente manera:

$$\text{Costo}_{otros} = AS_i * CAS + SST_i * CSST + Tm_i(SPSA + SPSL + MP) + TMo_i * CTMo + TE_i * CTE + PL * VD_i$$

6.3.1.4. Costo Fijo total

El costo total mes incurrido por abrir la una plataforma, se describe como la suma entre el costo de arrendamiento, el costo de obra civil y los otros conceptos.

$$c_{abi} = Costo_{m^2} + Costo_{obra} + Costo_{otros}$$

Por tanto, utilizando los valores de referencia identificados y las cantidades calculadas mediante la Metodología para el diseño de plataformas de Abastecimiento y distribución presente en el **ANEXO A**, podemos estimar los costos asociados a abrir una plataforma de abastecimiento los cuales se muestran a continuación:

CENTRO	COSTO DE ARRENDAMIENTO	COSTO OBRA CIVIL E INFRAESTRUCTURA	COSTOS OTROS CONCEPTOS (seguridad, servicios públicos, aseo, mantenimiento, pólizas, maquina)	TOTAL COSTO DE ABRIRL
CD-001	\$ 93.957.641	\$ 33.995.511	\$ 79.005.009	\$ 206.958.160
CD-002	\$ 68.023.415	\$ 25.455.851	\$ 64.815.347	\$ 158.294.613
CD-003	\$ 42.685.407	\$ 12.497.742	\$ 36.971.556	\$ 92.154.705
CD-004	\$ 40.170.803	\$ 11.793.457	\$ 33.754.492	\$ 85.718.752
CD-005	\$ 11.169.034	\$ 3.607.805	\$ 20.621.848	\$ 35.398.687
CD-006	\$ 39.374.512	\$ 11.478.331	\$ 34.236.585	\$ 85.089.428
CD-007	\$ 19.680.362	\$ 9.264.869	\$ 27.305.492	\$ 56.250.722
CD-008	\$ 12.030.733	\$ 6.797.021	\$ 22.855.751	\$ 41.683.505
CD-009	\$ 14.475.248	\$ 9.848.607	\$ 27.872.406	\$ 52.196.261
CD-010	\$ 7.588.717	\$ 3.808.086	\$ 20.145.675	\$ 31.542.478
CD-011	\$ 12.537.069	\$ 4.602.541	\$ 20.820.748	\$ 37.960.358
CD-012	\$ 10.063.801	\$ 3.455.938	\$ 19.988.689	\$ 33.508.428
CD-013	\$ 16.033.943	\$ 8.761.809	\$ 25.071.569	\$ 49.867.321
CD-014	\$ 7.574.280	\$ 3.808.086	\$ 20.145.675	\$ 31.528.041
CD-015	\$ 6.143.328	\$ 3.808.086	\$ 20.145.675	\$ 30.097.089
CD-016	\$ 17.278.991	\$ 8.761.809	\$ 25.071.569	\$ 51.112.369
ND-001	\$ 20.389.250	\$ 6.369.895	\$ 18.946.772	\$ 45.705.917
ND-002	\$ 19.383.408	\$ 6.142.095	\$ 18.229.955	\$ 43.755.458
ND-003	\$ 5.888.365	\$ 2.142.285	\$ 12.775.314	\$ 20.805.964
ND-004	\$ 19.509.138	\$ 6.035.786	\$ 18.560.524	\$ 44.105.447
ND-005	\$ 9.928.955	\$ 5.337.202	\$ 15.423.708	\$ 30.689.864
ND-006	\$ 5.885.213	\$ 3.546.109	\$ 13.880.011	\$ 23.311.333
ND-007	\$ 7.219.114	\$ 5.588.731	\$ 17.406.680	\$ 30.214.526
ND-008	\$ 4.305.435	\$ 2.262.831	\$ 12.607.052	\$ 19.175.319
ND-009	\$ 6.816.658	\$ 2.970.917	\$ 12.933.061	\$ 22.720.636
ND-010	\$ 5.724.917	\$ 2.430.836	\$ 12.531.781	\$ 20.687.534
ND-011	\$ 8.395.301	\$ 5.204.318	\$ 15.246.861	\$ 28.846.480
ND-012	\$ 4.297.245	\$ 2.262.831	\$ 12.607.052	\$ 19.167.129
ND-013	\$ 3.485.399	\$ 2.262.831	\$ 12.607.052	\$ 18.355.283
ND-014	\$ 9.047.202	\$ 5.204.318	\$ 15.246.861	\$ 29.498.381
ZC-001	\$ 6.517.016	\$ 0	\$ 6.103.061	\$ 12.620.077
ZC-002	\$ 6.328.421	\$ 0	\$ 6.074.350	\$ 12.402.771
ZC-003	\$ 6.517.016	\$ 0	\$ 6.103.061	\$ 12.620.077
ZC-004	\$ 6.328.421	\$ 0	\$ 6.074.350	\$ 12.402.771
ZC-005	\$ 5.993.141	\$ 0	\$ 4.189.630	\$ 10.182.771
ZC-006	\$ 6.391.286	\$ 0	\$ 6.083.920	\$ 12.475.206
ZC-007	\$ 6.328.421	\$ 0	\$ 6.074.350	\$ 12.402.771
ZC-008	\$ 6.517.016	\$ 0	\$ 6.103.061	\$ 12.620.077
ZC-009	\$ 6.391.286	\$ 0	\$ 6.083.920	\$ 12.475.206
ZC-010	\$ 6.391.286	\$ 0	\$ 6.083.920	\$ 12.475.206

ZC-011	\$ 4.636.431	\$ 0	\$ 3.739.947	\$ 8.376.378
ZC-012	\$ 4.593.100	\$ 0	\$ 3.733.567	\$ 8.326.667
ZC-013	\$ 3.834.805	\$ 0	\$ 3.401.916	\$ 7.236.721
ZC-014	\$ 3.834.805	\$ 0	\$ 3.401.916	\$ 7.236.721
ZC-015	\$ 682.872	\$ 0	\$ 2.556.782	\$ 3.239.654
ZC-016	\$ 437.660	\$ 0	\$ 2.370.221	\$ 2.807.881
ZC-017	\$ 2.179.324	\$ 0	\$ 2.949.044	\$ 5.128.368
ZC-018	\$ 263.282	\$ 0	\$ 2.341.511	\$ 2.604.793
ZC-019	\$ 530.080	\$ 0	\$ 2.386.171	\$ 2.916.251
ZC-020	\$ 336.293	\$ 0	\$ 2.376.601	\$ 2.712.894
ZC-021	\$ 703.401	\$ 0	\$ 2.749.723	\$ 3.453.124
ZC-022	\$ 1.299.934	\$ 0	\$ 2.588.682	\$ 3.888.616
ZC-023	\$ 430.074	\$ 0	\$ 2.518.501	\$ 2.948.575
ZC-024	\$ 921.862	\$ 0	\$ 2.714.632	\$ 3.636.494
ZC-025	\$ 338.840	\$ 0	\$ 2.341.511	\$ 2.680.351
ZC-026	\$ 301.312	\$ 0	\$ 2.335.131	\$ 2.636.443
ZC-027	\$ 2.035.715	\$ 0	\$ 2.749.723	\$ 4.785.438
ZC-028	\$ 1.346.038	\$ 0	\$ 2.582.302	\$ 3.928.340
ZC-029	\$ 262.782	\$ 0	\$ 2.341.511	\$ 2.604.293
ZC-030	\$ 314.570	\$ 0	\$ 2.518.501	\$ 2.833.071
ZC-031	\$ 1.299.934	\$ 0	\$ 2.588.682	\$ 3.888.616
ZC-032	\$ 455.264	\$ 0	\$ 2.386.171	\$ 2.841.435
ZC-033	\$ 279.027	\$ 0	\$ 2.351.081	\$ 2.630.108
ZC-034	\$ 584.616	\$ 0	\$ 2.518.501	\$ 3.103.117
ZC-035	\$ 414.954	\$ 0	\$ 2.386.171	\$ 2.801.125
ZC-036	\$ 304.167	\$ 0	\$ 2.360.651	\$ 2.664.818
ZC-037	\$ 684.891	\$ 0	\$ 2.743.343	\$ 3.428.234
ZC-038	\$ 1.191.606	\$ 0	\$ 2.572.732	\$ 3.764.338
ZC-039	\$ 323.992	\$ 0	\$ 2.351.081	\$ 2.675.073
ZC-040	\$ 297.691	\$ 0	\$ 2.360.651	\$ 2.658.342
ZC-041	\$ 79.788	\$ 0	\$ 2.309.610	\$ 2.389.398
ZC-042	\$ 213.136	\$ 0	\$ 2.341.511	\$ 2.554.647

Tabla 21: Costo fijo mensual - costo de abrir la plataforma i.

El detalle de los costos fijos asociados a abrir una plataforma se relaciona en el **Anexo_DiseñoPlataformas.xlsx**.

6.3.2. Costos Variables

Los costos variables van en función al número total de unidades que van a ser abastecidas desde la plataforma de abastecimiento, por lo tanto, su costo estimado se debe calcular en función a un costo unitario por tipo de medicamento.

6.3.2.1. Posiciones de almacenamiento.

El costo mensual esta dado por la necesidad de posiciones de almacenamiento y este se debe llevar a lo largo del tiempo por medio de una amortización mensual, para este caso se utilizarán los tiempos y costos estimados relacionados en la siguiente tabla:

TIPO	DESCRIPCIÓN	COSTO UN (Cp_e)	TIEMPO AMORTIZACION
Estantería Liviana	MP-06	\$ 8.900	60
Estantería Liviana	MP-07	\$ 10.920	60

Estantería Liviana	MP-08	\$ 12.459	60
Estantería Liviana	MP-10	\$ 16.588	60
Estantería Pesada	1/6 Palet	\$ 140.806	60
Estantería Pesada	1/4 Palet	\$ 211.208	60
Estantería Pesada	1/2 Palet	\$ 422.417	60
Estantería Pesada	1 Palet	\$ 258.323	60

Tabla 22: Costo unitario - posiciones de almacenamiento.

El costo asociado por posiciones de almacenamiento se expresa como:

$$C_{almacenamiento_i} = Ul_{ei} * Cp_e$$

6.3.2.2. Dotaciones.

El costo mensual esta dado por la necesidad de Contenedores Plásticos, Neveras de Icopor, Terminales de Radiofrecuencia, carros de Picking y Equipo de Cómputo; este se debe llevar a lo largo del del tiempo por medio de una amortización mensual, para este caso se utilizarán los tiempos y costos estimados relacionados en la siguiente tabla:

Tipo	Descripción	COSTO UN	TIEMPO	EXPRESIÓN
Contenedor Plástico Grande	CP-001	\$ 32.000	24	CCP_k donde $k = MED001 \dots MED004$
Contenedor Plástico pequeño	CP-002	\$ 22.000	24	CCP_k donde $k = MED006$
Nevera Icopor 90 LT	NI-001	\$ 45.000	3	CCP_k donde $k = MED005$
Terminal Radiofrecuencia	MC-3200	\$ 3.325.000	36	CTR
Carro Picking	CP-001	\$ 550.000	36	CRP
Computador Estándar	EQ-001	\$ 2.450.000	36	

Tabla 23: Costo unitario - dotaciones.

El costo asociado por dotaciones se expresa como:

$$C_{dotaciones_i} = (4P_{ik} * CCP_k) + (TR_I * CTR) + (AOAI_i * CRP)$$

6.3.2.3. Estructura de Personal.

Para el desarrollo del ejercicio se estableció la siguiente tabla de salarios, donde para cargo de COORDINADOR DE OPERACIONES tienen un sueldo fijo + variable, donde el factor variable este un porcentaje sobre el valor de inventario a administrar; para el resto de los cargos se estima un valor fijo mensual.

CARGO	SALARIO	VARIABLE	FACTOR	SALARIO + FP
COORDINADOR OPERACIONES	\$ 4.000.000	0,01%	1,52	N/A

DIRECTOR TECNICO	\$ 3.700.000		1,52	\$ 5.624.000
AUXILIAR OPERACIONES	\$ 890.000		1,62	\$ 1.441.800
AUXILIAR OPERACIONES	\$ 890.000		1,62	\$ 1.441.800
AUXILIAR OPERACIONES	\$ 890.000		1,62	\$ 1.441.800
AUXILIAR OPERACIONES	\$ 890.000		1,62	\$ 1.441.800
AUXILIAR OPERACIONES	\$ 890.000		1,62	\$ 1.441.800
AUXILIAR OPERACIONES	\$ 890.000		1,62	\$ 1.441.800
AUXILIAR INVENTARIOS	\$ 890.000		1,62	\$ 1.441.800
MONTACARGUISTA	\$ 1.050.000		1,62	\$ 1.701.000
AUXILIAR DE INFORMACION	\$ 1.100.000		1,62	\$ 1.782.000
SUPERVISOR OPERACIONES	\$ 2.250.000		1,62	\$ 3.645.000

Tabla 24: Tabla de salarios mensual estimada.

El costo asociado por estructura de personal o nómina se expresa como:

$$C_{nomina_i} = PT_{in} * CN_n$$

6.3.2.4. Distribución de Costos Variables

Una vez se determinaron los costos mensuales por cada concepto, este costo debe ser distribuido por cada tipo de producto en función de los siguientes porcentajes:

CONCEPTO	FORMULACIÓN
Distribución de Costos Variables	
1. Posiciones de Almacenamiento	$\%TP_{ki} = \frac{TU_{kei} * Cu_e}{\sum TU_{kei} * Cu_e}$
2. Dotaciones	$\%TD_{ki} = \frac{D_{ki}}{\sum D_{ki}}$
3. Estructura de Personal	$\%TD_{ki} = \frac{D_{ki}}{\sum D_{ki}}$

Tabla 25: Formulación matemática - distribución costos Variables.

El costo de mantener el inventario del tipo de producto k en la plataforma i se expresa de la siguiente manera:

$$c_{ma_{ik}} = \frac{(\%TP_{kj} * C_{almacenamiento_i}) + (\%TD_{kj} * C_{dotaciones_i}) + (\%TD_{kj} * C_{nomina_i})}{D_{ik}}$$

El detalle de los costos variables asociados a mantener una unidad en la plataforma i se relaciona en el **Anexo_DiseñoPlataformas.xlsx**.

6.3.3. Costo de enviar.

Se define el costo de enviar como el costo que conlleva realizar el transporte y distribución desde las plataformas de abastecimiento hacia los grupos de droguerías, este costo es de tipo variable en función al número de unidades movilizadas de cada tipo de producto por cada plataforma de abastecimiento.

Para el desarrollo del ejercicio se definen 3 tipos de medios de envío:

- **Carga masiva:** Envío por medio de vehículos de manera directa desde las plataformas de abastecimiento hacia los establecimientos farmacéuticos, donde la carga es exclusiva de la cadena, por tanto, no se considera que se de el cubicaje o consumo de capacidad del vehículo; los vehículos más utilizados para este tipo de producto por su volumen son vehículos de la configuración C2, con capacidad aproximada de 3.5 toneladas.
- **Paqueteo:** Modo de envío por medio de empresas de paqueteo o envío por piezas, donde el tipo de vehículo no entra a ser un factor diferencial para el generador de carga, se establecen tarifas en función del peso y valor declarado de los contenedores a enviar; las promesas de servicio oscilan entre las 24 a las 96 horas dependiendo el destino.
- **Aéreo:** Medio de envío por piezas con la connotación que él envío se realiza de manera aérea, este medio se utiliza en los casos que se requiere tener una promesa de entrega por debajo de las 24 horas entre ciudades principales, las tarifas se establecen en función del peso y el valor declarado de los contenedores a enviar.

6.3.3.1. Viabilidad de los arcos de envío.

Con el fin de establecer la viabilidad de envío desde la plataforma i al grupo de droguerías j del tipo de producto k por el medio de transporte t , se deben establecer las posibles combinaciones, lo cual se describe en la siguiente fórmula.

$$\text{Arcos} = T. \text{Plataformas} * T. \text{Grupo Droguerías} * T. \text{Tipo de Producto} * T. \text{Envío}$$

Para el desarrollo del caso base se tienen un total de:

- 72 plataformas de abastecimiento conformada por 16 Centros de abastecimiento, 14 Nodos de abastecimiento y 42 plataformas de tipo crossdocking.
- 85 grupos de droguerías agrupadas de acuerdo con su ubicación geográfica.

- 6 tipos de productos
- 3 medios de envío

Por lo tanto, se tienen un total de **110.160** combinaciones, para determinar la viabilidad de los arcos se tuvo presente las siguientes consideraciones:

- Las plataformas de tipo Crossdocking, están diseñadas para distribuir en la misma zona o zonas aledañas.
- El modelo de envío de tipo aéreo solo está habilitado para ciudades principales.
- Los Centros de abastecimiento y Nodos de abastecimiento están en capacidad de abastecer ciudades principales y zonas aledañas, con una mayor cobertura en las plataformas ubicadas en Bogotá, Cali, Medellín.

CENTRO	TOTAL POSIBLES ARCOS	ARCOS VIABLES CARGA MASIVA	ARCOS VIABLES PAQUETEO	ARCOS VIABLES AEREO	% VIABILIDAD CARGA MASIVA	% VIABILIDAD AEREO	% VIABILIDAD PAQUETEO	TOTAL % VIABILIDAD
CD-001	1.530	510	510	120	100%	100%	24%	74,5%
CD-002	1.530	264	264	132	52%	52%	26%	43,1%
CD-003	1.530	510	510	120	100%	100%	24%	74,5%
CD-004	1.530	510	510	120	100%	100%	24%	74,5%
CD-005	1.530	510	510	120	100%	100%	24%	74,5%
CD-006	1.530	510	510	120	100%	100%	24%	74,5%
CD-007	1.530	510	510	186	100%	100%	36%	78,8%
CD-008	1.530	234	234		46%	46%	0%	30,6%
CD-009	1.530	186	186		36%	36%	0%	24,3%
CD-010	1.530	162	162	186	32%	32%	36%	33,3%
CD-011	1.530	174	174	186	34%	34%	36%	34,9%
CD-012	1.530	180	180		35%	35%	0%	23,5%
CD-013	1.530	168	168	186	33%	33%	36%	34,1%
CD-014	1.530	162	162	186	32%	32%	36%	33,3%
CD-015	1.530	162	162	186	32%	32%	36%	33,3%
CD-016	1.530	168	168	186	33%	33%	36%	34,1%
ND-001	1.530	510	510	120	100%	100%	24%	74,5%
ND-002	1.530	510	510	120	100%	100%	24%	74,5%
ND-003	1.530	510	510	120	100%	100%	24%	74,5%
ND-004	1.530	510	510	120	100%	100%	24%	74,5%
ND-005	1.530	510	510	186	100%	100%	36%	78,8%
ND-006	1.530	228	228		45%	45%	0%	29,8%
ND-007	1.530	186	186		36%	36%	0%	24,3%
ND-008	1.530	162	162	186	32%	32%	36%	33,3%
ND-009	1.530	174	174	186	34%	34%	36%	34,9%
ND-010	1.530	180	180		35%	35%	0%	23,5%
ND-011	1.530	168	168	186	33%	33%	36%	34,1%
ND-012	1.530	162	162	186	32%	32%	36%	33,3%
ND-013	1.530	162	162	186	32%	32%	36%	33,3%
ND-014	1.530	168	168	186	33%	33%	36%	34,1%
ZC-001	1.530	84	84		16%	16%	0%	11,0%

ZC-002	1.530	90	90		18%	18%	0%	11,8%
ZC-003	1.530	84	84		16%	16%	0%	11,0%
ZC-004	1.530	90	90		18%	18%	0%	11,8%
ZC-005	1.530	60	60		12%	12%	0%	7,8%
ZC-006	1.530	66	66		13%	13%	0%	8,6%
ZC-007	1.530	90	90		18%	18%	0%	11,8%
ZC-008	1.530	84	84		16%	16%	0%	11,0%
ZC-009	1.530	66	66		13%	13%	0%	8,6%
ZC-010	1.530	66	66		13%	13%	0%	8,6%
ZC-011	1.530	42	42		8%	8%	0%	5,5%
ZC-012	1.530	54	54		11%	11%	0%	7,1%
ZC-013	1.530	24	24		5%	5%	0%	3,1%
ZC-014	1.530	24	24		5%	5%	0%	3,1%
ZC-015	1.530	24	24		5%	5%	0%	3,1%
ZC-016	1.530	36	36		7%	7%	0%	4,7%
ZC-017	1.530	30	30		6%	6%	0%	3,9%
ZC-018	1.530	18	18		4%	4%	0%	2,4%
ZC-019	1.530	24	24		5%	5%	0%	3,1%
ZC-020	1.530	24	24		5%	5%	0%	3,1%
ZC-021	1.530	36	36		7%	7%	0%	4,7%
ZC-022	1.530	36	36		7%	7%	0%	4,7%
ZC-023	1.530	48	48		9%	9%	0%	6,3%
ZC-024	1.530	30	30		6%	6%	0%	3,9%
ZC-025	1.530	18	18		4%	4%	0%	2,4%
ZC-026	1.530	18	18		4%	4%	0%	2,4%
ZC-027	1.530	48	48		9%	9%	0%	6,3%
ZC-028	1.530	24	24		5%	5%	0%	3,1%
ZC-029	1.530	18	18		4%	4%	0%	2,4%
ZC-030	1.530	48	48		9%	9%	0%	6,3%
ZC-031	1.530	36	36		7%	7%	0%	4,7%
ZC-032	1.530	24	24		5%	5%	0%	3,1%
ZC-033	1.530	24	24		5%	5%	0%	3,1%
ZC-034	1.530	48	48		9%	9%	0%	6,3%
ZC-035	1.530	30	30		6%	6%	0%	3,9%
ZC-036	1.530	18	18		4%	4%	0%	2,4%
ZC-037	1.530	36	36		7%	7%	0%	4,7%
ZC-038	1.530	30	30		6%	6%	0%	3,9%
ZC-039	1.530	30	30		6%	6%	0%	3,9%
ZC-040	1.530	18	18		4%	4%	0%	2,4%
ZC-041	1.530	6	6		1%	1%	0%	0,8%
ZC-042	1.530	18	18		4%	4%	0%	2,4%
	110.160	10.782	10.782	3.816	29%	29%	10%	23,0%

Tabla 26: Viabilidad de arcos de abastecimiento.

Al final de un total de 110.160 arcos posibles se tienen 25.380 arcos viables, donde 10.782 son de Carga Masiva, 10.782 Paqueteo y 3.816 de Aéreo, para tener un total de 23% de arcos viables.

6.3.3.2. Costo de envío por tipo de modelo de transporte.

El costo de envío se calcula en función del medio de envío, la ciudad de origen de carga y la ciudad de destino:

- **Carga Masiva:** Para el caso de la mercancía que se envía por carga masiva, se trabaja en función al uso de la capacidad del vehículo, teniendo presente que se liquida el flete completo; para estimar el costo unitario de envío se debe tener presente la capacidad ocupada del vehículo en función a la demanda estimada el número de contenedores, por tanto, se define Fo_r como el factor de ocupación de la demandad de la zona r en un tipo de vehículo NHR, donde su capacidad estimada es de 150 piezas, por tanto si la relación entre Pz_r y CV es mayor a 1, el factor de ocupación sería igual a 1, en caso contrario se define bajo la siguiente fórmula.

$$Fo_r = \begin{cases} 1, & \text{si } \frac{Pz_r}{CV} > 1 \\ \frac{CV}{Pz_r}, & \text{si } \frac{Pz_r}{CV} < 1 \end{cases}$$

El costo de enviar una unidad desde la plataforma de abastecimiento i hacia el punto j para el tipo de producto j en el medio de envío *Carga Masiva* se determina de la siguiente manera:

$$c_{_en_{ijkt}} = Fo_r \left(\frac{f_{ij}}{CV * \widehat{un}_k} \right)$$

TIPO MEDICAMENTO	DESC. TP MEDICAMENTO	UNIDADES POR CAJA \widehat{un}_k	CAJAS VEHICULO NHR CV	UNIDADES $CV * \widehat{un}_k$
MED001	MEDICAMENTOS (0 A 240 CM3)	419	150	62.880
MED002	MEDICAMENTOS (241 A 480 CM3)	151	150	22.721
MED003	MEDICAMENTOS (481 A 963 CM3)	63	150	9.481
MED004	MEDICAMENTOS (X > 964 CM3)	15	150	2.214
MED005	CADENA FRIO	59	120	7.117
MED006	ALTO COSTO	4	400	1.621

Tabla 27: Estimado de unidades máxima por vehículo.

- **Paqueteo:** Los modelos de envío de mercancía por paqueteo trabajan en función del peso y del valor declarado de la mercancía; se estima el valor de la mercancía en función a la demanda por cada zona.

Para esto se estima el valor del costo de la mercancía por pieza para cada zona de destino de mercancía, teniendo presente que cada establecimiento farmacéutico tiene una localización geográfica, se procede a realizar una agrupación de la demanda en función de contenedores y valor de la mercancía, por cada tipo de producto, con el fin de estimar el valor declarado de mercancías, para esto se utiliza la siguiente fórmula:

$$VD_{jk} = \frac{Ef_{jk}}{CP_{jk}}$$

Una vez se tiene determinado el valor declarado, el valor estimado del envío en un modelo de paquetero se establece como:

$$Cpq_{jik} = (ck_{ji} * tk_j) + (VD_{jk} * S)$$

El seguro de mercancías es un valor porcentual que se paga en función del valor declarado, en caso de que se llegue a presentar algún tipo de siniestro con este pago se recupera el 100% del valor declarado, para el desarrollo del ejercicio se maneja un valor de seguro equivalente al 0.3%, adicionalmente el peso por contenedor es de 35 kg, a excepción el contenedor de tipo CP-002 utilizado para medicamentos MED006 Alto Costo el cual es del 10 kg.

Por último, el costo unitario de envío por cada tipo de producto por medio de paquetero es igual al valor del flete sobre las unidades contenidas dentro de un contenedor por cada tipo de producto.

$$c_{en_{ijkt}} = \frac{Cpq_{jik}}{u\hat{n}_k}$$

- **Aéreo:** El modelo de envío aéreo tiene el mismo modelo de cálculo que un modelo de paquetero con la diferencia puntualmente en el costo por kilogramo movido el cual es superior, la tasa de seguro de mercancías es mayor y los tiempos de entrega son mucho menor, por tanto, para el desarrollo del ejercicio se establece una tasa de seguro de mercancías por 0.5% del valor declarado.

El detalle de los arcos de envío con su viabilidad, tiempo y costo asociado, pueden ser consultado en el archivo **Anexo_DiseñoPlataformas.xlsx**.

6.3.4. Costo Suministrar

Se define el costo de suministrar, como el costo que conlleva realizar la reposición de inventario desde los Centros de Suministro m hacia las plataformas de abastecimiento i , este costo es de tipo variable y va en función a número de unidades enviadas por cada tipo de producto i , bajo un medio de transporte t determinado.

Los Centros de Suministro m a nivel de ubicación física, son las mismas Plataformas de Abastecimiento con la característica de poder enviar producto a otra Plataforma de Abastecimiento, por tanto, se definen las siguientes premisas:

- **Los Centros de Abastecimiento y Distribución:** Son suministrados por los laboratorios o proveedores, y tienen la capacidad de suministrar medicamentos a Nodos de Abastecimiento, Establecimientos farmacéuticos o envío por medio de Plataformas CrossDocking
- **Los Nodos de Abastecimiento:** Son suministrados únicamente por los Centros de Abastecimiento y pueden suministrar Establecimientos farmacéuticos o envío por medio de Plataformas CrossDocking.
- **Plataformas CrossDocking:** Plataformas de paso donde la conformación del pedido puede venir de un Centro de Abastecimiento o un Nodo de Abastecimiento, no tiene la capacidad de Suministrar algún actor de la Red puesto que no cuentan con inventario.

6.3.4.1. Viabilidad de los arcos de suministro.

Con el fin de establecer la viabilidad de envío desde la plataforma de suministro m a las plataformas de abastecimiento i del tipo de producto k por el medio de transporte t , se deben establecer las posibles combinaciones, lo cual se describe en la siguiente fórmula.

$$Arco_{Sumi} = T. Suministradores * T. Plataformas * T. Tipo de Producto * T. Envio$$

Para el desarrollo del caso base se tienen un total de:

- 30 plataformas con capacidad de realizar suministros (16 Centros de Abastecimiento y 14 Nodos de Abastecimiento).
- 72 plataformas de abastecimiento conformada por 16 Centros de abastecimiento, 14 Nodos de abastecimiento y 42 plataformas de tipo crossdocking.
- 6 Tipos de productos
- 3 Medios de envío

Se determina un total de **38.880** combinaciones, para determinar la viabilidad de los arcos se tuvo presente las siguientes consideraciones:

- El modelo de envío de tipo aéreo solo está habilitado para ciudades principales.
- Los Centros de abastecimiento y Nodos de abastecimiento están en capacidad de abastecer ciudades principales y zonas aledañas, con una mayor cobertura en las plataformas ubicadas en Bogotá, Cali, Medellín.
- Los Nodos de Abastecimiento no pueden suministrar a otros Nodos.

CENTRO	TOTAL POSIBLES ARCOS	ARCOS VIABLES CARGA	ARCOS VIABLES PAQUETEO	ARCOS VIABLES AEREO	% VIABILIDAD CARGA	% VIABILIDAD AEREO	% VIABILIDAD PAQUETEO	TOTAL % VIABILIDAD
CD-001	1296	342	336	138	79%	78%	32%	63,0%
CD-002	1296	342	336	168	79%	78%	39%	65,3%
CD-003	1296	342	336	138	79%	78%	32%	63,0%
CD-004	1296	342	336	138	79%	78%	32%	63,0%
CD-005	1296	342	336	138	79%	78%	32%	63,0%
CD-006	1296	342	336	138	79%	78%	32%	63,0%
CD-007	1296	342	336	210	79%	78%	49%	68,5%
CD-008	1296	342	336	0	79%	78%	0%	52,3%
CD-009	1296	342	336	0	79%	78%	0%	52,3%
CD-010	1296	342	336	210	79%	78%	49%	68,5%
CD-011	1296	342	336	210	79%	78%	49%	68,5%
CD-012	1296	342	336	0	79%	78%	0%	52,3%
CD-013	1296	342	336	210	79%	78%	49%	68,5%
CD-014	1296	342	336	210	79%	78%	49%	68,5%
CD-015	1296	342	336	210	79%	78%	49%	68,5%
CD-016	1296	342	336	210	79%	78%	49%	68,5%
ND-001	1296	252	252	96	58%	58%	22%	46,3%
ND-002	1296	252	252	96	58%	58%	22%	46,3%
ND-003	1296	252	252	96	58%	58%	22%	46,3%
ND-004	1296	252	252	96	58%	58%	22%	46,3%
ND-005	1296	252	252	150	58%	58%	35%	50,5%
ND-006	1296	252	252	0	58%	58%	0%	38,9%
ND-007	1296	252	252	0	58%	58%	0%	38,9%
ND-008	1296	252	252	150	58%	58%	35%	50,5%
ND-009	1296	252	252	150	58%	58%	35%	50,5%
ND-010	1296	252	252	0	58%	58%	0%	38,9%

ND-011	1296	252	252	150	58%	58%	35%	50,5%
ND-012	1296	252	252	150	58%	58%	35%	50,5%
ND-013	1296	252	252	150	58%	58%	35%	50,5%
ND-014	1296	252	252	150	58%	58%	35%	50,5%

Tabla 28: Viabilidad de arcos de suministro

6.3.4.2. Costo de suministro por tipo de modelo de transporte.

El costo de suministro es igual al costo de enviar producto desde la plataforma de suministro m hacia la plataforma de abastecimiento i , más el costo asociado por realizar el alistamiento desde la plataforma m y se define de la siguiente manera:

$$c_{su_{mikt}} = c_{en_{mikt}} + c_{ma_{mk}}$$

El detalle de los arcos de envío con su viabilidad, tiempo y costo asociado, pueden ser consultado en el archivo **Anexo_DiseñoPlataformas.xlsx**.

6.4. Modelo de Optimización

Este capítulo tiene como objetivo desarrollar y ejecutar el modelo de optimización, enfocado a dar solución al problema de diseño de la red de abastecimiento de productos farmacéuticos en función de costos y tiempos de respuesta. Partiendo desde la configuración de la red establecida, las posibles plataformas de abastecimiento, los costos fijos y variables asociados a la apertura de estas plataformas; y los costos y tiempos de envío identificados en los arcos de envío y suministro respectivamente.

Bajo este modelo, se espera tener como resultado una matriz de configuraciones de red de abastecimiento, entre los límites del modelo de menor costo y el modelo de menor tiempo de respuesta.

El horizonte de análisis es de manera mensual, por tanto los costos fijos, costos variables y la demanda están asociados a este periodo de tiempo.

6.4.1. Descripción Modelo de Optimización

6.4.1.1. Indices

- $i \in CEDIS$: El índice i se utilizará para denotar los Centros de abastecimiento (Centros de distribución, Nodos de distribución y zonas CrossDocking), los cuales pertenecen al conjunto $CEDIS$.
- $j \in PDV$: El índice j se utilizará para denotar el grupo de droguerías a nivel nacional, las cuales pertenecen al conjunto PDV .
- $k \in T_PRODUCTO$: El índice k se utilizará para denotar el tipo de Medicamento con necesidad de abastecimiento, el cual pertenece al grupo de $T_PRODUCTO$.
- $t \in T_TRANSPORTE$: El índice t se utilizará para denotar el tipo de transporte empleado para cubrir la necesidad de abastecimiento, el cual pertenece al grupo de $T_TRANSPORTE$.
- $m \in CESU$: El índice i se utilizará para denotar los Centros de abastecimiento que realizarán la reposición de inventario a los Nodos de distribución y Zonas CrossDocking, los cuales pertenecen al conjunto $CESU \in CEDIS$.

6.4.1.2. Parámetros

- c_{ab_i} : Costo fijo de abrir el Centro de abastecimiento i (Centros de distribución, Nodos de distribución y zonas CrossDocking).
- $c_{ma_{ik}}$: Costo de mantener el inventario del producto k en el Centro de abastecimiento i .
- $c_{ab_{ik}}$: Capacidad de almacenamiento del Centro de abastecimiento i para tener el producto k .
- d_{2jk} : Demanda del producto k desde el grupo de droguería j .
- $c_{en_{ijkt}}$: Costo de enviar producto desde el Centro de abastecimiento i al Grupo de droguerías j del producto k por el medio de transporte t .
- $t_{en_{ijkt}}$: Tiempo de envío desde el Centro de abastecimiento i al Grupo de droguerías j del producto k por el medio de transporte t .
- $v_{en_{ijkt}}$: Viabilidad del arco de suministro, esto quiere decir si es posible realizar la entrega de desde el Centro de abastecimiento i al Grupo de droguerías j del producto k por el medio de transporte t .
- $c_{su_{mikt}}$: Costo de enviar producto desde el Centro de Suministro m al Centro de abastecimiento i del producto k por el medio de transporte t .
- $t_{su_{mikt}}$: Tiempo de envío desde el Centro de Suministro m al Centro de abastecimiento i del producto k por el medio de transporte t .
- $v_{su_{mikt}}$: Viabilidad del arco de suministro, esto quiere decir si es posible realizar la entrega de desde el Centro de Suministro m al Centro de abastecimiento i del producto k por el medio de transporte t .
- lt : Lead Time o tiempo de abastecimiento máximo de la red.

6.4.1.3. Variables

- $X_i \in \{0, 1\}$: Variable de decisión binaria, donde si es 1 se abre el Centro de abastecimiento i .

- $T_{ijkt} \in \{0, 1\}$: Variable de decisión binaria, donde si es **1** se asigna envío desde el Centro de abastecimiento i al Grupo de droguerías j del producto k por el medio de transporte t .
- D_{ijkt} : Variable de decisión donde se asigna la demanda al Centro de abastecimiento i del Grupo de droguerías j para el producto k por el medio de transporte t .
- DS_{mikt} : Variable de decisión donde se asigna al Centro de Suministro m la necesidad de suministro del Centro de abastecimiento i , para el producto k , enviado por el medio de transporte t .
- $W_{mikt} \in \{0, 1\}$: Variable de decisión binaria, donde si es **1** se asigna envío desde el Centro de Suministro m al Centro de abastecimiento i , para el producto k , enviado por el medio de transporte t .

6.4.1.4. Función Objetivo 1 (Minimizar Costos)

$$\min \quad COSTO_{ABRIR} + COSTO_{ENVIAR} + COSTO_{MANTENER} + COSTO_{SUMINISTRAR} \quad I.$$

- $COSTO_{ABRIR}$: Costo fijo asociado a abrir un Centro de Abastecimiento i .

$$COSTO_{ABRIR} = \sum_{(i \in CEDIS)} c_{ab_i} X_i$$

- $COSTO_{ENVIAR}$: Costo asociado por enviar producto desde el Centro de abastecimiento i Grupo de droguerías j del producto k mediante el medio de transporte t .

$$COSTO_{ENVIAR} = \sum_{(i \in CEDIS)} \sum_{(j \in PDV)} \sum_{(k \in T_PROD)} \sum_{(t \in T_TRAN)} c_{en_{ijkt}} D_{ijkt} T_{ijkt}$$

- **$COSTO_{MANTENER}$** : Costo asociado a mantener una unidad del producto k en el Centro de abastecimiento i

$$COSTO_{MANTENER} = \sum_{(i \in CEDIS)} \sum_{(j \in PDV)} \sum_{(k \in T_PROD)} \sum_{(t \in T_TRAN)} c_ma_{ik} D_{ijkt} X_i$$

- **$COSTO_{SUMINISTRAR}$** : Costo asociado por enviar producto desde el Centro de Suministro m al Centro de Abastecimiento j para el producto k por el medio de transporte j .

$$COSTO_{SUMINISTRAR} = \sum_{(m \in CESU)} \sum_{(i \in CEDIS)} \sum_{(k \in T_PROD)} \sum_{(t \in T_TRAN)} c_su_{mikt} DS_{mikt} W_{mikt}$$

Sujeto a:

1. La demanda de los Grupos de droguerías i para el producto k es atendida desde un Centro de Abastecimiento j abierto.

$$\sum_{(j \in PDV)} \sum_{(k \in T_PROD)} D_{ijkt} X_i = d2_{jk} \quad \forall i, t \in CEDIS, T_TRANSPORTE \quad \text{II.}$$

2. La demanda de los Grupos de droguerías i para el producto k es atendida desde el Centro de Abastecimiento j por medio de un arco de envío viable.

$$\sum_{(j \in PDV)} \sum_{(k \in T_PROD)} D_{ijkt} v_en_{ijkt} = d2_{jk} \quad \forall i, t \in CEDIS, T_TRANSPORTE \quad \text{III.}$$

3. Se tiene asignado un único medio de envío desde el Centro de Abastecimiento i direccionado al Grupo de droguerías j del producto k por en el medio de transporte t .

$$\sum_{(j \in PDV)} \sum_{(k \in T_PROD)} \mathbf{T}_{ijkt} = 1 \quad \forall i, t \in CEDIS, T_TRANSPORTE \quad \text{IV.}$$

4. Se tiene asignado un único medio de envío desde el Centro de Abastecimiento i direccionado al Grupo de droguerías j del producto k por en el medio de transporte t , teniendo presente los Centros de Abastecimiento abiertos y los arcos de envío viables.

$$\sum_{(j \in PDV)} \sum_{(k \in T_PROD)} \mathbf{T}_{ijkt} \mathbf{X}_i \mathbf{v}_{en_{ijkt}} = 1 \quad \forall i, t \in CEDIS, T_TRANSPORTE \quad \text{V.}$$

5. La demanda de los Grupos de droguerías i para el producto k es atendida desde el Centro de Abastecimiento j por medio de un medio de transporte t .

$$\sum_{(j \in PDV)} \sum_{(k \in T_PROD)} \mathbf{D}_{ijkt} \mathbf{T}_{ijkt} = \mathbf{d}_{2jk} \quad \forall i, t \in CEDIS, T_TRANSPORTE \quad \text{VI.}$$

6. Todo Centro de Abastecimiento i tiene asignado un Centro de Suministro m para el producto k el cuál es enviado por el medio de transporte t , teniendo presente que el Centro de Suministro debe ser un Centro de Abastecimiento Abierto.

$$\sum_{(m \in CESU)} \sum_{(k \in T_PROD)} \mathbf{W}_{mikt} = \mathbf{X}_m \quad \forall i, t \in CEDIS, T_TRANSPORTE \quad \text{VII.}$$

7. La demanda de los Grupos de droguerías j que es atendida por un Centro de abastecimiento i , tiene un Centro Suministrador principal m por medio de un arco de suministro viable, donde existe balance que todo lo que sale de los Centro de Abastecimiento i debe ser suministrado por un Centro de Suministro m .

$$\sum_{(i \in CEDIS)} \sum_{(k \in T_PROD)} \sum_{(t \in T_TRANS)} \mathbf{D}_{S_{mijt}} \mathbf{W}_{mikt} \mathbf{v}_{s_{en_{mijt}}} = \sum_{(j \in PDV)} \mathbf{X}_i \mathbf{D}_{ijkt} \quad \forall m \in CESU \quad \text{VIII.}$$

8. La demanda de los Grupos de droguerías j que es atendida por un Centro de abastecimiento i , tiene un Centro Suministrador principal m por medio de un arco de suministro viable, donde existe balance que todo pasa por los medios de transporte de abastecimiento T_{ijkt} debe ser suministrado por un Centro de Suministro m .

$$\sum_{(i \in CEDIS)} \sum_{(k \in T_PROD)} \sum_{(t \in T_TRANS)} DS_{mijt} W_{mikt} vs_en_{mijt} = \sum_{(j \in PDV)} T_{ijkt} D_{ijkt} \quad \forall m \in CESU \quad IX.$$

9. La necesidad de suministro de los Centros de Abastecimiento i sale de Centros de Suministro m abiertos.

$$\sum_{(m \in CESU)} DS_{mikt} W_{mikt} vs_en_{mikt} = \sum_{(m \in CESU)} DS_{mikt} X_m \quad \forall k, t, i \in T_PRODUCTO, T_TRANSPORTE, CEDIS \quad X.$$

10. La demanda atendida por los Centros de Abastecimiento i de los productos k , no supera la capacidad instalada de los Centros de Abastecimiento.

$$\sum_{(i \in CEDIS)} \sum_{(k \in T_PROD)} D_{ijkt} \leq cap_cd_{ik} \quad \forall j, t \in CESU, T_TRANSPORTE \quad XI.$$

11. El Lead Time de la Red de Abastecimiento debe ser menor al Lead Time lt máximo.

$$\frac{\sum_{(i \in CEDIS)} \sum_{(j \in PDV)} \sum_{(k \in T_PROD)} \sum_{(t \in T_TRAN)} D_{ijkt} t_en_{ijkt} + \sum_{(i \in CEDIS)} \sum_{(j \in PDV)} \sum_{(k \in T_PROD)} \sum_{(t \in T_TRAN)} DS_{mikt} t_su_{mikt}}{\sum_{(j \in PDV)} \sum_{(k \in T_PROD)} d2_{jk}} \leq lt \quad XII.$$

12. Decisión de abrir un Centro de Abastecimiento j es binaria.

$$X_i \in \{0,1\} \quad XIII.$$

13. Decisión de asignar envío desde el Centro de Abastecimiento i al Grupo de droguerías j del producto k por el medio de transporte t es Binaria.

$$T_{ijkt} \in \{0,1\} \quad \text{XIV.}$$

14. Decisión de asignar envío desde el Centro de Suministro m al Centro de Abastecimiento i del producto k por el medio de transporte t es Binaria.

$$W_{mikt} \in \{0,1\} \quad \text{XV.}$$

6.4.1.5. Función Objetivo 2 (Minimizar Lead Time)

$$\min \quad LEAD\ TIME_{RED} \quad \text{I.}$$

- $LEAD\ TIME_{RED}$: Tiempo de abastecimiento de la red de suministro.

$$LEAD\ TIME_{RED}$$

$$= \frac{\sum_{(i \in CEDIS)} \sum_{(j \in PDV)} \sum_{(k \in T_PROD)} \sum_{(t \in T_TRAN)} D_{ijkt} t_{en_{ijkt}} + \sum_{(i \in CEDIS)} \sum_{(j \in PDV)} \sum_{(k \in T_PROD)} \sum_{(t \in T_TRAN)} DS_{mikt} t_{su_{mikt}}}{\sum_{(j \in PDV)} \sum_{(k \in T_PROD)} d2_{jk}}$$

Sujeto a:

1. La demanda de los Grupos de droguerías i para el producto k es atendida desde un Centro de Abastecimiento j abierto.

$$\sum_{(j \in PDV)} \sum_{(k \in T_PROD)} D_{ijkt} X_i = d2_{jk} \quad \forall i, t \in CEDIS, T_TRANPORTE \quad \text{II.}$$

2. La demanda de los Grupos de droguerías i para el producto k es atendida desde el Centro de Abastecimiento j por medio de un arco de envío viable.

$$\sum_{(j \in PDV)} \sum_{(k \in T_PROD)} \mathbf{D}_{ijkt} \mathbf{v_en}_{ijkt} = \mathbf{d2}_{jk} \quad \forall i, t \in CEDIS, T_TRANSPORTE \quad \text{III.}$$

3. Se tiene asignado un único medio de envío desde el Centro de Abastecimiento i direccionado al Grupo de droguerías j del producto k por en el medio de transporte t .

$$\sum_{(j \in PDV)} \sum_{(k \in T_PROD)} \mathbf{T}_{ijkt} = 1 \quad \forall i, t \in CEDIS, T_TRANSPORTE \quad \text{IV.}$$

4. Se tiene asignado un único medio de envío desde el Centro de Abastecimiento i direccionado al Grupo de droguerías j del producto k por en el medio de transporte t , teniendo presente los Centros de Abastecimiento abiertos y los arcos de envío viables.

$$\sum_{(j \in PDV)} \sum_{(k \in T_PROD)} \mathbf{T}_{ijkt} \mathbf{X}_i \mathbf{v_en}_{ijkt} = 1 \quad \forall i, t \in CEDIS, T_TRANSPORTE \quad \text{V.}$$

5. La demanda de los Grupos de droguerías i para el producto k es atendida desde el Centro de Abastecimiento j por medio de un medio de transporte t .

$$\sum_{(j \in PDV)} \sum_{(k \in T_PROD)} \mathbf{D}_{ijkt} \mathbf{T}_{ijkt} = \mathbf{d2}_{jk} \quad \forall i, t \in CEDIS, T_TRANSPORTE \quad \text{VI.}$$

6. Todo Centro de Abastecimiento i tiene asignado un Centro de Suministro m para el producto k el cuál es enviado por el medio de transporte t , teniendo presente que el Centro de Suministro debe ser un Centro de Abastecimiento Abierto.

$$\sum_{(m \in CESU)} \sum_{(k \in T_PROD)} \mathbf{W}_{mikt} = \mathbf{X}_m \quad \forall i, t \in CEDIS, T_TRANSPORTE \quad \text{VII.}$$

7. La demanda de los Grupos de droguerías j que es atendida por un Centro de abastecimiento i , tiene un Centro Suministrador principal m por medio de un arco de suministro viable, donde existe balance que todo lo que sale de los Centro de Abastecimiento i debe ser suministrado por un Centro de Suministro m .

$$\sum_{(i \in CEDIS)} \sum_{(k \in T_PROD)} \sum_{(t \in T_TRANS)} DS_{mijt} W_{mikt} vs_en_{mijt} = \sum_{(j \in PDV)} X_i D_{ijkt} \quad \forall m \in CESU \quad \text{VIII.}$$

8. La demanda de los Grupos de droguerías j que es atendida por un Centro de abastecimiento i , tiene un Centro Suministrador principal m por medio de un arco de suministro viable, donde existe balance que todo pasa por los medios de transporte de abastecimiento T_{ijkt} debe ser suministrado por un Centro de Suministro m .

$$\sum_{(i \in CEDIS)} \sum_{(k \in T_PROD)} \sum_{(t \in T_TRANS)} DS_{mijt} W_{mikt} vs_en_{mijt} = \sum_{(j \in PDV)} T_{ijkt} D_{ijkt} \quad \forall m \in CESU \quad \text{IX.}$$

9. La necesidad de suministro de los Centros de Abastecimiento i sale de Centros de Suministro m abiertos.

$$\sum_{(m \in CESU)} DS_{mikt} W_{mikt} vs_en_{mikt} = \sum_{(m \in CESU)} DS_{mikt} X_m \quad \forall k, t, i \in T_PRODUCTO, T_TRANSPORTE, CEDIS \quad \text{X.}$$

10. La demanda atendida por los Centros de Abastecimiento i de los productos k , no supera la capacidad instalada de los Centros de Abastecimiento.

$$\sum_{(i \in CEDIS)} \sum_{(k \in T_PROD)} D_{ijkt} \leq cap_cd_{ik} \quad \forall j, t \in CESU, T_TRANSPORTE \quad \text{XI.}$$

11. Decisión de abrir un Centro de Abastecimiento j es binaria.

$$X_j \in \{0,1\} \quad \text{XII.}$$

12. Decisión de asignar envío desde el Centro de Abastecimiento i al Grupo de droguerías j del producto k por el medio de transporte t es Binaria.

$$T_{ijkt} \in \{0,1\} \quad \text{XIII.}$$

13. Decisión de asignar envío desde el Centro de Suministro m al Centro de Abastecimiento i del producto k por el medio de transporte t es Binaria.

$$W_{mikt} \in \{0,1\} \quad \text{XIV.}$$

6.4.2. Ejecución Modelo de Optimización

Con el fin de ejecutar los modelos de optimización establecidos, se procede a seleccionar los siguientes softwares para el desarrollo del ejercicio:

- Python 3.7.0: Software utilizado como lenguaje de programación.
- Gurobi 9.0: Software utilizado como optimizador.
- Jupyter: Software utilizado como notebook o entorno de desarrollo.

Partiendo del diseño del modelo de optimización y los parámetros establecidos en el caso base se procede a seguir la siguiente metodología:

- Optimización en función de costos.
- Optimización en función de tiempo.
- Establecer intervalo de posibles escenarios.
- Optimización en función de restricción de Lead Time máximos.

6.4.2.1. Optimización en función de costos

Para optimizar en función de costos se trabajó bajo la **función objetivo 1**.

$$\min \text{COSTO}_{ABRIR} + \text{COSTO}_{ENVIAR} + \text{COSTO}_{MANTENER} + \text{COSTO}_{SUMINISTRAR}$$

De acuerdo con la información suministrada por el optimizador se identifica que el modelo cuenta con:

- 273 Filas, 49.752 columnas y 61.111 no ceros.
- 28.994 términos objetivos de tipo cuadráticos
- 429 restricciones de tipo cuadráticas
- 24.840 variables de tipo continuas, 24.912 variables de tipo entera (Binaria)

Nodes		Current Node		Objective Bounds			Work	
Expl	Unexpl	Obj	Depth	IntInf	Incumbent	BestBd	Gap	It/Node Time
	0	1.1181e+09	0	447	- 1.1181e+09	-	-	10s
H	0	0			1.438974e+09	1.1181e+09	22.3%	11s
	0	1.1375e+09	0	189	1.4390e+09	1.1375e+09	20.9%	15s
H	0	0			1.304187e+09	1.1375e+09	12.8%	17s
	0	1.1443e+09	0	261	1.3042e+09	1.1443e+09	12.3%	21s
	0	1.1467e+09	0	278	1.3042e+09	1.1467e+09	12.1%	24s
	0	1.1715e+09	0	219	1.3042e+09	1.1715e+09	10.2%	27s
	0	1.1715e+09	0	174	1.3042e+09	1.1715e+09	10.2%	44s
	0	1.1715e+09	0	194	1.3042e+09	1.1715e+09	10.2%	51s
H	0	0			1.183130e+09	1.1715e+09	0.98%	51s
	0	1.1715e+09	0	198	1.1831e+09	1.1715e+09	0.98%	54s
	0	1.1715e+09	0	198	1.1831e+09	1.1715e+09	0.98%	54s
	0	1.1715e+09	0	198	1.1831e+09	1.1715e+09	0.98%	55s
	0	1.1715e+09	0	171	1.1831e+09	1.1715e+09	0.98%	59s
	0	1.1715e+09	0	187	1.1831e+09	1.1715e+09	0.98%	61s
	0	1.1715e+09	0	190	1.1831e+09	1.1715e+09	0.98%	62s
	0	1.1715e+09	0	190	1.1831e+09	1.1715e+09	0.98%	62s
	0	1.1715e+09	0	190	1.1831e+09	1.1715e+09	0.98%	62s
	0	1.1715e+09	0	173	1.1831e+09	1.1715e+09	0.98%	64s
	0	1.1715e+09	0	184	1.1831e+09	1.1715e+09	0.98%	65s
	0	1.1715e+09	0	187	1.1831e+09	1.1715e+09	0.98%	65s
	0	1.1715e+09	0	187	1.1831e+09	1.1715e+09	0.98%	65s
	0	1.1715e+09	0	174	1.1831e+09	1.1715e+09	0.98%	65s
	0	1.1715e+09	0	188	1.1831e+09	1.1715e+09	0.98%	66s
	0	1.1831e+09	0	191	1.1831e+09	1.1831e+09	0.00%	66s

Cutting planes:
 Gomory: 64
 Implied bound: 190
 Clique: 374
 MIR: 3
 RLT: 23

Explored 1 nodes (125384 simplex iterations) in 66.24 seconds
 Thread count was 12 (of 12 available processors)

Solution count 3: 1.18313e+09 1.30419e+09 1.43897e+09

Optimal solution found (tolerance 1.00e-04)
 Best objective 1.183129856000e+09, best bound 1.183129856000e+09, gap 0.0000%

Figura 19: Optimización modelo menor costo.

De acuerdo con la **Figura 19**, se determinar un valor óptimo para el modelo planteado, donde el costo total es de \$1.183.129.856, la configuración de la red es la siguiente:

Plataformas logísticas abiertas

CENTRO	NOMBRE	ABASTECIMIENTO	SUMINISTRO	COSTO ABRIR
CD-001	CEDIS FUNZA	x	x	\$ 195.633.537
CD-002	CEDIS COPACABANA	x	x	\$ 158.523.538

Tabla 29: Plataformas logísticas abiertas - Modelo 1.

Teniendo presente que se realiza apertura de 2 centros de abastecimiento, la configuración de la red es la siguiente, donde se identifica el Centro de abastecimiento que cumple con la demanda mensual de cada grupo de droguerías y los tiempos de entrega.

DEPARTAMENTO GRUPO	UBICACION GRUPO	CENTRO	T. TRANSPORTE	DEMANDA (mensual)		TIEMPO. ENVIO (horas)	
				CD-001	CD-002	CD-001	CD-002
ANTIOQUIA	APARTADO	GD-001	PQ		11.263		72
ANTIOQUIA	BELLO	GD-002	CM		161.098		8
ANTIOQUIA	CALDAS	GD-003	CM		36.297		8
ANTIOQUIA	CARMEN DE VIBORAL	GD-004	PQ		9.436		48
ANTIOQUIA	COPACABANA	GD-005	CM		29.579		8
ANTIOQUIA	DON MATIAS	GD-006	PQ		5.046		48
ANTIOQUIA	EL RETIRO	GD-007	PQ		1.460		48
ANTIOQUIA	ENVIGADO	GD-008	CM		123.405		8
ANTIOQUIA	GIRARDOTA	GD-009	PQ		20.754		24
ANTIOQUIA	GUARNE	GD-010	PQ		6.109		48
ANTIOQUIA	ITAGUI	GD-011	CM		109.622		8
ANTIOQUIA	LA CEJA	GD-012	CM		29.284		8
ANTIOQUIA	MARINILLA	GD-013	PQ		11.720		48
ANTIOQUIA	MED - CENTRO	GD-014	CM		540.512		8
ANTIOQUIA	MED - NORTE	GD-015	CM		232.977		8
ANTIOQUIA	MED - OCCIDENTE	GD-016	CM		275.069		8
ANTIOQUIA	MED - SUR	GD-017	CM		190.828		8
ANTIOQUIA	RIONEGRO	GD-018	CM		95.722		8
ANTIOQUIA	SABANETA	GD-019	CM		30.675		8
ANTIOQUIA	SANTA ROSA DE OSOS	GD-020	PQ		3.037		48
ANTIOQUIA	YARUMAL	GD-021	PQ		1.818		48
ATLANTICO	BARRANQUILLA	GD-022	PQ		19.991		72
BOGOTA	BOG - NORTE 1	GD-023	CM	131.776		12	
BOGOTA	BOG - NORTE 2	GD-024	CM	198.567		12	
BOGOTA	BOG - NORTE 3	GD-025	CM	124.278		12	
BOGOTA	BOG - OCCIDENTE 1	GD-026	CM	178.353		12	
BOGOTA	BOG - OCCIDENTE 2	GD-027	CM	117.342		12	
BOGOTA	BOG - OCCIDENTE 3	GD-028	CM	237.103		12	
BOGOTA	BOG - ORIENTE	GD-029	CM	118.106		12	
BOGOTA	BOG - SUR 1	GD-030	CM	144.041		12	
BOGOTA	BOG - SUR 2	GD-031	CM	139.844		12	
BOGOTA	BOG - SUR 3	GD-032	CM	49.478		12	
BOLIVAR	CARTAGENA	GD-033	PQ		19.186		72
BOYACA	CHIQUEQUIRA	GD-034	CM	9.994		24	
BOYACA	DUITAMA	GD-035	CM	34.922		24	
BOYACA	MONIQUEIRA	GD-036	PQ	1.840		48	
BOYACA	PAIPA	GD-037	PQ	6.526		24	
BOYACA	SOGAMOSO	GD-038	CM	45.047		24	
BOYACA	TUNJA	GD-039	CM	30.704		24	

BOYACA	VILLA DE LEYVA	GD-040	PQ	4.302		24	
BOYACA	VILLAPINZON	GD-041	PQ	829		24	
CALDAS	MANIZALES	GD-042	PQ		12.621		24
CAQUETA	FLORENCIA	GD-043	PQ	11.397		48	
CASANARE	YOPAL	GD-044	CM	15.060		24	
CESAR	VALLEDUPAR	GD-045	PQ		1.875		72
CUNDINAMARCA	ANAPOIMA	GD-046	PQ	4.238		24	
CUNDINAMARCA	CAJICA	GD-047	CM	17.792		3	
CUNDINAMARCA	CHIA	GD-048	CM	38.915		3	
CUNDINAMARCA	COTA	GD-049	PQ	4.606		24	
CUNDINAMARCA	FACATATIVA	GD-050	CM	20.569		12	
CUNDINAMARCA	FUNZA	GD-051	CM	39.130		3	
CUNDINAMARCA	FUSAGASUGA	GD-052	CM	62.052		12	
CUNDINAMARCA	GIRARDOT	GD-053	CM	56.750		12	
CUNDINAMARCA	GUADUAS	GD-054	CM	1.600		12	
CUNDINAMARCA	LA CALERA	GD-055	PQ	1.444		24	
CUNDINAMARCA	LA MESA	GD-056	CM	16.391		12	
CUNDINAMARCA	MADRID	GD-057	PQ	7.334		24	
CUNDINAMARCA	MESITAS	GD-059	CM	3.434		12	
CUNDINAMARCA	MOSQUERA	GD-060	PQ	5.401		24	
CUNDINAMARCA	PACHO	GD-061	CM	2.309		12	
CUNDINAMARCA	RICARTE	GD-062	PQ	5.930		24	
CUNDINAMARCA	SOACHA	GD-063	CM	96.221		12	
CUNDINAMARCA	SUESCA	GD-064	PQ	3.880		36	
CUNDINAMARCA	TABIO	GD-065	PQ	2.101		24	
CUNDINAMARCA	TOCANCIPA	GD-066	PQ	3.454		24	
CUNDINAMARCA	UBATE	GD-067	PQ	3.057		24	
CUNDINAMARCA	VILLETEA	GD-068	CM	8.149		12	
CUNDINAMARCA	ZIPAQUIRA	GD-069	CM	36.314		12	
HUILA	NEIVA	GD-070	CM		58.005		24
MAGDALENA	SANTA MARTA	GD-071	PQ		5.754		72
META	ACACIAS	GD-072	PQ	3.020		24	
META	RESTREPO	GD-073	PQ	2.419		24	
META	VILLAVICENCIO	GD-074	CM	43.703		24	
QUINDIO	ARMENIA	GD-075	CM		63.022		24
RISARALDA	PEREIRA	GD-076	PQ		6.133		24
SANTANDER	BARRANCABERMEJA	GD-077	PQ	5.770		48	
SANTANDER	BUCARAMANGA	GD-078	CM		57.921		24
SANTANDER	FLORIDABLANCA	GD-079	PQ	11.018		48	
TOLIMA	ESPINAL	GD-080	CM	20.770		12	
TOLIMA	IBAGUE	GD-081	CM	95.612		12	
TOLIMA	MELGAR	GD-058	PQ	2.272		24	
VALLE	BUGA	GD-082	PQ	5.774		48	
VALLE	CALI	GD-083	CM		127.270		24
VALLE	CARTAGO	GD-084	PQ	1.232		24	
VALLE	PALMIRA	GD-085	PQ	2.669		24	

Tabla 30: Configuración red de abastecimiento Modelo 1.

El tiempo de entrega asociado a toda la red es de 13,10 horas, para este modelo no se tienen costos asociados al suministro o reabastecimiento teniendo presente que el suministro es realizado directamente por los proveedores.

MODELO	COSTO ABRIR	COSTO MANTENER	COSTO ENVIAR	COSTO SUMINISTRAR	COSTO TOTAL	TIEMPO DE ENTREGA (RED)
Menor Costo	\$ 354.157.075	\$ 638.682.348	\$ 190.290.433	\$ 0	\$ 1.183.129.856	13,10

Tabla 31: Costo total mensual y tiempo de Entrega Modelo 1.

6.4.2.2. Optimización en función de tiempo

Para optimizar en función de costos se trabajó bajo la **función objetivo 2**.

$$\min \quad LEAD\ TIME_{RED}$$

$$LEAD\ TIME_{RED}$$

$$= \frac{\sum_{(i \in CEDIS)} \sum_{(j \in PDV)} \sum_{(k \in T_PROD)} \sum_{(t \in T_TRAN)} D_{ijkt} t_{en_{ijkt}} + \sum_{(i \in CEDIS)} \sum_{(j \in PDV)} \sum_{(k \in T_PROD)} \sum_{(t \in T_TRAN)} DS_{mikt} t_{su_{mikt}}}{\sum_{(j \in PDV)} \sum_{(k \in T_PROD)} d2_{jk}}$$

De acuerdo con la información suministrada por el optimizador se identifica que el modelo cuenta con:

- 273 Filas, 49.752 columnas y 61.111 no ceros.
- 429 restricciones de tipo cuadráticas
- 24.840 variables de tipo continuas, 24.912 variables de tipo entera (Binaria)

Nodes		Current Node			Objective Bounds			Work	
Expl	Unexpl	Obj	Depth	IntInf	Incumbent	BestBd	Gap	It/Node	Time
0	0	6.00293	0	151	-	6.00293	-	-	29s
0	0	6.32730	0	200	-	6.32730	-	-	46s
0	0	6.34271	0	292	-	6.34271	-	-	51s
0	0	6.34271	0	291	-	6.34271	-	-	52s
0	0	6.48058	0	217	-	6.48058	-	-	69s
0	0	6.65058	0	53	-	6.65058	-	-	89s
0	0	6.65058	0	137	-	6.65058	-	-	95s
0	0	6.65058	0	105	-	6.65058	-	-	100s
H	0	0	0	0	7.9744222	6.65058	16.6%	-	114s
0	0	6.65058	0	20	7.97442	6.65058	16.6%	-	114s
H	0	0	0	0	7.4352020	6.65058	10.6%	-	115s
0	0	6.65058	0	22	7.43520	6.65058	10.6%	-	117s
0	0	6.65058	0	19	7.43520	6.65058	10.6%	-	120s
0	0	6.65058	0	38	7.43520	6.65058	10.6%	-	122s
H	0	0	0	0	7.0326744	6.65058	5.43%	-	130s
H	0	0	0	0	6.8369505	6.65058	2.73%	-	130s
0	0	6.65058	0	16	6.83695	6.65058	2.73%	-	131s
0	0	6.65058	0	37	6.83695	6.65058	2.73%	-	136s
H	0	0	0	0	6.7684956	6.65058	1.74%	-	141s
H	0	0	0	0	6.6911479	6.65058	0.61%	-	141s
0	0	6.65058	0	69	6.69115	6.65058	0.61%	-	141s
H	0	0	0	0	6.6523928	6.65058	0.03%	-	146s
H	0	0	0	0	6.6500750	6.65007	0.00%	-	146s
0	0	6.65007	0	20	6.65007	6.65007	0.00%	-	146s

Cutting planes:
 Gomory: 4
 Cover: 11
 Implied bound: 62
 Clique: 45
 MIR: 67
 Flow cover: 102
 Flow path: 4
 GUB cover: 7
 RL: 24
 Relax-and-lift: 17

Explored 1 nodes (276935 simplex iterations) in 146.40 seconds
 Thread count was 12 (of 12 available processors)

Solution count 8: 6.65007 6.65239 6.69115 ... 7.97442

Optimal solution found (tolerance 1.00e-04)
 Best objective 6.650074972509e+00, best bound 6.650074972509e+00, gap 0.0000%

Figura 20: Optimización modelo menor tiempo de entrega.

De acuerdo con la **Figura 20**, se determinará un valor óptimo para el modelo planteado, donde el lead time de la red es de 6,65 horas la configuración de la red es la siguiente:

Plataformas logísticas abiertas

Bajo esta función objetivo se abren un total de 28 plataformas logísticas, de las cuales 19, están diseñadas para realizar abastecimiento directo a los grupos de droguerías y 9 entran en la red con la función de realizar suministro a los centros de abastecimiento que lo requieran.

CENTRO	NOMBRE	ABASTECIMIENTO	SUMINISTRO	COSTO ABRIR
CD-002	CEDIS COPACABANA	x		\$ 158.523.538
CD-003	CEDIS BOG - NORTE	x		\$ 87.886.818
CD-004	CEDIS BOG - SUR	x		\$ 81.479.756
CD-005	CEDIS BOG - ORIENTE	x		\$ 35.398.687
CD-006	CEDIS BOG - OCCIDENTE	x		\$ 80.821.541
CD-007	CEDIS CALI	x		\$ 56.315.503
CD-008	CEDIS TUNJA		x	\$ 41.702.758
CD-009	CEDIS IBAGUE		x	\$ 52.247.834
CD-011	CEDIS BUCARAMANGA	x		\$ 37.960.358
CD-012	CEDIS VILLAVICENCIO	x		\$ 33.508.428
CD-013	CEDIS ARMENIA	x		\$ 49.927.160
CD-015	CEDIS SANTA MARTA	x		\$ 30.097.089
ND-001	NODO BOG - NORTE		x	\$ 47.969.870
ND-002	NODO BOG - SUR		x	\$ 46.048.301
ND-003	NODO BOG - ORIENTE		x	\$ 20.805.964
ND-004	NODO BOG - OCCIDENTE		x	\$ 46.369.400
ND-006	NODO TUNJA		x	\$ 23.330.587
ND-007	NODO IBAGUE		x	\$ 30.266.099
ND-010	NODO VILLAVICENCIO		x	\$ 20.687.534
ZC-004	CROSS BOG - OCCIDENTE 3	x		\$ 12.402.771
ZC-017	CROSS SOACHA	x		\$ 5.128.368
ZC-027	CROSS GIRARDOT	x		\$ 4.785.438
ZC-028	CROSS FUSAGASUGA	x		\$ 3.928.340
ZC-030	CROSS SOGAMOSO	x		\$ 2.833.071
ZC-035	CROSS ZIPAQUIRA	x		\$ 2.801.125
ZC-037	CROSS ESPINAL	x		\$ 3.428.234
ZC-039	CROSS FUNZA	x		\$ 2.675.073
ZC-041	CROSS YOPAL	x		\$ 2.389.398

Tabla 32: Plataformas logísticas abiertas - Modelo 2.

Teniendo presente que se realiza apertura de 28 Centros para el abastecimiento y suministro, la configuración de la red es la siguiente, donde se identifica el Centro de abastecimiento que cumple con la demanda de cada grupo de droguerías y los tiempos de entrega.

UBICACION GRUPO	GRUPO	T. TRANSPORTE	CEDI	DEMANDA.	TIEMPO DE ENTREGA	TIEMPO DE SUMINISTRO	TIEMPO TOTAL
APARTADO	GD-001	CM	CD-002	11.263	24	0	24
BELLO	GD-002	CM	CD-002	161.098	8	0	8
CALDAS	GD-003	CM	CD-002	36.297	8	0	8
CARMEN DE VIBORAL	GD-004	CM	CD-002	9.436	8	0	8
COPACABANA	GD-005	CM	CD-002	29.579	8	0	8
DON MATIAS	GD-006	CM	CD-002	5.046	8	0	8
EL RETIRO	GD-007	CM	CD-002	1.460	8	0	8
ENVIGADO	GD-008	CM	CD-002	123.405	8	0	8
GIRARDOTA	GD-009	CM	CD-002	20.754	8	0	8
GUARNE	GD-010	CM	CD-002	6.109	8	0	8
ITAGUI	GD-011	CM	CD-002	109.622	8	0	8
LA CEJA	GD-012	CM	CD-002	29.284	8	0	8
MARINILLA	GD-013	CM	CD-002	11.720	12	0	12
MED - CENTRO	GD-014	CM	CD-002	540.512	8	0	8
MED - NORTE	GD-015	CM	CD-002	232.977	8	0	8
MED - OCCIDENTE	GD-016	CM	CD-002	275.069	8	0	8
MED - SUR	GD-017	CM	CD-002	190.828	8	0	8
RIONEGRO	GD-018	CM	CD-002	95.722	8	0	8
SABANETA	GD-019	CM	CD-002	30.675	8	0	8
SANTA ROSA DE OSOS	GD-020	CM	CD-002	3.037	12	0	12
YARUMAL	GD-021	CM	CD-002	1.818	12	0	12
BARRANQUILLA	GD-022	CM	CD-015	19.991	12	0	12
BOG - NORTE 1	GD-023	CM	CD-003	131.776	3	0	3
BOG - NORTE 2	GD-024	CM	CD-003	198.567	3	0	3
BOG - NORTE 3	GD-025	CM	CD-003	124.278	3	0	3
BOG - OCCIDENTE 1	GD-026	CM	CD-006	178.353	3	0	3
BOG - OCCIDENTE 2	GD-027	CM	CD-006	117.342	3	0	3
BOG - OCCIDENTE 3	GD-028	CM	CD-006	237.103	3	0	3
BOG - ORIENTE	GD-029	CM	CD-005	118.106	3	0	3
BOG - SUR 1	GD-030	CM	CD-004	144.041	3	0	3
BOG - SUR 2	GD-031	CM	CD-004	139.844	3	0	3
BOG - SUR 3	GD-032	CM	CD-004	49.478	3	0	3
CARTAGENA	GD-033	CM	CD-015	19.186	12	0	12
CHIQUINQUIRA	GD-034	CM	ZC-030	9.994	6	3	9
DUITAMA	GD-035	CM	ZC-030	34.922	3	3	6

MONQUIRA	GD-036	CM	ZC-030	1.840	3	3	6
PAIPA	GD-037	CM	ZC-030	6.526	3	3	6
SOGAMOSO	GD-038	CM	ZC-030	45.047	3	3	6
TUNJA	GD-039	CM	ZC-030	30.704	3	3	6
VILLA DE LEYVA	GD-040	CM	ZC-030	4.302	3	3	6
VILLAPINZON	GD-041	CM	ZC-030	829	6	3	9
MANIZALES	GD-042	CM	CD-013	12.621	12	0	12
FLORENCIA	GD-043	CM	CD-007	11.397	24	0	24
YOPAL	GD-044	CM	ZC-041	15.060	3	3	6
VALLEDUPAR	GD-045	CM	CD-015	1.875	12	0	12
ANAPOIMA	GD-046	CM	ZC-027	4.238	8	3	11
CAJICA	GD-047	CM	CD-003	17.792	3	0	3
CHIA	GD-048	CM	CD-003	38.915	3	0	3
COTA	GD-049	CM	ZC-039	4.606	3	3	6
FACATATIVA	GD-050	CM	ZC-039	20.569	3	3	6
FUNZA	GD-051	CM	CD-003	39.130	3	0	3
FUSAGASUGA	GD-052	CM	ZC-028	62.052	3	3	6
GIRARDOT	GD-053	CM	ZC-027	56.750	3	3	6
GUADUAS	GD-054	CM	CD-003	1.600	12	0	12
LA CALERA	GD-055	CM	CD-003	1.444	12	0	12
LA MESA	GD-056	CM	CD-003	16.391	12	0	12
MADRID	GD-057	CM	CD-003	7.334	3	0	3
MESITAS	GD-059	CM	ZC-027	3.434	8	3	11
MOSQUERA	GD-060	CM	CD-003	5.401	3	0	3
PACHO	GD-061	CM	ZC-035	2.309	6	3	9
RICAUARTE	GD-062	CM	ZC-027	5.930	3	3	6
SOACHA	GD-063	CM	ZC-017	96.221	3	3	6
SUESCA	GD-064	CM	CD-003	3.880	12	0	12
TABIO	GD-065	CM	ZC-004	2.101	4	3	7
TOCANCIPA	GD-066	CM	CD-003	3.454	12	0	12
UBATE	GD-067	CM	CD-003	3.057	12	0	12
VILLETA	GD-068	CM	CD-003	8.149	12	0	12
ZIPAQUIRA	GD-069	CM	ZC-035	36.314	3	3	6
NEIVA	GD-070	CM	CD-013	58.005	12	0	12
SANTA MARTA	GD-071	CM	CD-015	5.754	12	0	12
ACACIAS	GD-072	CM	CD-012	3.020	12	0	12
RESTREPO	GD-073	CM	CD-012	2.419	12	0	12
VILLAVICENCIO	GD-074	CM	CD-012	43.703	12	0	12
ARMENIA	GD-075	CM	CD-013	63.022	12	0	12
PEREIRA	GD-076	CM	CD-013	6.133	12	0	12
BARRANCABERMEJA	GD-077	CM	CD-011	5.770	12	0	12

BUCARAMANGA	GD-078	CM	CD-011	57.921	12	0	12
FLORIDABLANCA	GD-079	CM	CD-011	11.018	12	0	12
ESPINAL	GD-080	CM	ZC-037	20.770	3	3	6
IBAGUE	GD-081	CM	ZC-037	95.612	6	3	9
MELGAR	GD-058	CM	ZC-037	2.272	6	3	9
BUGA	GD-082	CM	CD-007	5.774	12	0	12
CALI	GD-083	CM	CD-007	127.270	12	0	12
CARTAGO	GD-084	CM	CD-013	1.232	12	0	12
PALMIRA	GD-085	CM	CD-007	2.669	12	0	12

Tabla 33: Configuración red de abastecimiento Modelo 2.

Bajo esta configuración el costo total de la red es de \$2.031.579.854, con un Tiempo de entrega total de 6,65 horas.

MODELO	COSTO ABRIR	COSTO MANTENER	COSTO ENVIAR	COSTO SUMINISTRAR	COSTO TOTAL	TIEMPO TOTAL (RED)
Menor Tiempo	\$ 1.021.719.043	\$ 713.861.221	\$ 177.561.731	\$ 118.437.859	\$ 2.031.579.854	6,65

Tabla 34: Costo total mensual y tiempo de Entrega Modelo 2.

6.4.2.3. Análisis de escenarios diseño red de distribución

Partiendo de los diseños de red de distribución en donde se minimiza el lead time de la red y el diseño donde se minimizan los costos totales de la red, se establecen los límites, con el fin de establecer posibles configuraciones de la red de suministro en función de tiempos y costos.

Para el modelo de optimización en función de los costos totales el Tiempo de entrega de la red es de 13,10 horas y para el modelo de optimización en función del Tiempo de entrega, el menor valor para la red es de 6,65 horas, por tanto, se establecen posibles modelos en función a un lead time creciente en 0,125 horas.

Se establece como restricción el Tiempo de entrega, con el fin de encontrar la mejor configuración de la red para cada escenario planteado, una vez ejecutado los 53 modelos de optimización, identificamos que se encuentra una solución óptima para cada escenario, como se puede observar en el **ANEXO B**.

La configuración de cada modelo de red está dada por la siguiente configuración de centros abiertos, los cuales pueden realizar funciones tanto de abastecimiento como de suministro.

Modelo	CENTRO DE DISTRIBUCION	NODO DE DISTRIBUCION	ZONA CROSSDOCKING	Total general
Lead Time Max: 6.6501	12	7	9	28
Lead Time Max: 6.75	9	6	6	21
Lead Time Max: 6.875	9	3	3	15
Lead Time Max: 7.0	7	4	4	15
Lead Time Max: 7.125	7	3	3	13
Lead Time Max: 7.25	7	2	2	11
Lead Time Max: 7.375	5	4	4	13
Lead Time Max: 7.5	6	2	2	10
Lead Time Max: 7.625	5	2	2	9
Lead Time Max: 7.75	5	2	2	9
Lead Time Max: 7.875	5	2	2	9
Lead Time Max: 8.0	4	2	2	8
Lead Time Max: 8.125	4	2	2	8
Lead Time Max: 8.25	4	2	2	8
Lead Time Max: 8.375	4	2	2	8
Lead Time Max: 8.5	3	3	3	9
Lead Time Max: 8.625	4	1	1	6
Lead Time Max: 8.75	4	1	1	6
Lead Time Max: 8.875	4	1	1	6
Lead Time Max: 9.0	4	1	1	6
Lead Time Max: 9.125	3	2	2	7
Lead Time Max: 9.25	3	2	2	7
Lead Time Max: 9.375	3	2	2	7
Lead Time Max: 9.5	2	3	3	8

Lead Time Max: 9.625	2	3	3	8
Lead Time Max: 9.75	2	3	3	8
Lead Time Max: 9.875	2	3	3	8
Lead Time Max: 10.0	2	3	3	8
Lead Time Max: 10.125	2	2	2	6
Lead Time Max: 10.25	2	2	2	6
Lead Time Max: 10.375	2	2	2	6
Lead Time Max: 10.5	2	2	2	6
Lead Time Max: 10.625	2	2	2	6
Lead Time Max: 10.75	2	2	2	6
Lead Time Max: 10.875	2	2	1	5
Lead Time Max: 11.0	2	2	1	5
Lead Time Max: 11.125	2	2	1	5
Lead Time Max: 11.25	2	2	1	5
Lead Time Max: 11.375	2	2	1	5
Lead Time Max: 11.5	2	1	1	4
Lead Time Max: 11.625	2	1	1	4
Lead Time Max: 11.75	2	1	1	4
Lead Time Max: 11.875	2	1	1	4
Lead Time Max: 12.0	2			2
Lead Time Max: 12.125	2			2
Lead Time Max: 12.25	2			2
Lead Time Max: 12.375	2			2
Lead Time Max: 12.5	2			2
Lead Time Max: 12.625	2			2
Lead Time Max: 12.75	2			2
Lead Time Max: 12.875	2			2
Lead Time Max: 13.0	2			2
Lead Time Max: 13.125	2			2

Tabla 35: Plataformas logísticas abiertas – posibles escenarios.

A continuación, se relacionan la cantidad de centros asignados al proceso de Abastecimiento y los centros asignados al proceso de suministro.

Modelo	TOTAL CENTROS DE ABASTECIMIENTO	TOTAL CENTROS DE SUMINISTRO
Lead Time Max: 6.6501	19	9
Lead Time Max: 6.75	15	6
Lead Time Max: 6.875	12	3
Lead Time Max: 7.0	11	4
Lead Time Max: 7.125	10	3
Lead Time Max: 7.25	9	2
Lead Time Max: 7.375	9	4
Lead Time Max: 7.5	8	2
Lead Time Max: 7.625	7	2
Lead Time Max: 7.75	7	2
Lead Time Max: 7.875	7	2
Lead Time Max: 8.0	6	2
Lead Time Max: 8.125	6	2
Lead Time Max: 8.25	6	2
Lead Time Max: 8.375	6	2

Lead Time Max: 8.5	6	3
Lead Time Max: 8.625	5	1
Lead Time Max: 8.75	5	1
Lead Time Max: 8.875	5	1
Lead Time Max: 9.0	5	1
Lead Time Max: 9.125	5	2
Lead Time Max: 9.25	5	2
Lead Time Max: 9.375	5	2
Lead Time Max: 9.5	5	3
Lead Time Max: 9.625	5	3
Lead Time Max: 9.75	5	3
Lead Time Max: 9.875	5	3
Lead Time Max: 10.0	5	3
Lead Time Max: 10.125	4	2
Lead Time Max: 10.25	4	2
Lead Time Max: 10.375	4	2
Lead Time Max: 10.5	4	2
Lead Time Max: 10.625	4	2
Lead Time Max: 10.75	4	2
Lead Time Max: 10.875	3	2
Lead Time Max: 11.0	3	2
Lead Time Max: 11.125	3	2
Lead Time Max: 11.25	3	2
Lead Time Max: 11.375	3	2
Lead Time Max: 11.5	3	1
Lead Time Max: 11.625	3	1
Lead Time Max: 11.75	3	1
Lead Time Max: 11.875	3	1
Lead Time Max: 12.0	2	0
Lead Time Max: 12.125	2	0
Lead Time Max: 12.25	2	0
Lead Time Max: 12.375	2	0
Lead Time Max: 12.5	2	0
Lead Time Max: 12.625	2	0
Lead Time Max: 12.75	2	0
Lead Time Max: 12.875	2	0
Lead Time Max: 13.0	2	0
Lead Time Max: 13.125	2	0

Tabla 36: Centros de abastecimientos y suministros - posibles escenarios.

El medio de transporte para el abastecimiento, para cada modelo que ese ajusta a los tiempos de entrega de la red es el siguiente, donde se identifica entre un tiempo de entrega menor aumenta el uso del tipo de transporte carga masiva, mientras que entre más amplio sea el lead time de la red, el modelo de envío por paquetero, toma una mayor relevancia.

MODELO	CARGA MASIVA	PAQUETERO	Total general
Lead Time Max: 6.65	85		85
Lead Time Max: 6.75	83	2	85
Lead Time Max: 6.875	81	4	85

Lead Time Max: 7.0	82	3	85
Lead Time Max: 7.125	79	6	85
Lead Time Max: 7.25	79	6	85
Lead Time Max: 7.375	76	9	85
Lead Time Max: 7.5	80	5	85
Lead Time Max: 7.625	80	5	85
Lead Time Max: 7.75	78	7	85
Lead Time Max: 7.875	67	18	85
Lead Time Max: 8.0	80	5	85
Lead Time Max: 8.125	73	12	85
Lead Time Max: 8.25	71	14	85
Lead Time Max: 8.375	64	21	85
Lead Time Max: 8.5	74	11	85
Lead Time Max: 8.625	75	10	85
Lead Time Max: 8.75	68	17	85
Lead Time Max: 8.875	68	17	85
Lead Time Max: 9.0	61	24	85
Lead Time Max: 9.125	68	17	85
Lead Time Max: 9.25	64	21	85
Lead Time Max: 9.375	61	24	85
Lead Time Max: 9.5	70	15	85
Lead Time Max: 9.625	62	23	85
Lead Time Max: 9.75	59	26	85
Lead Time Max: 9.875	57	28	85
Lead Time Max: 10.0	54	31	85
Lead Time Max: 10.125	64	21	85
Lead Time Max: 10.25	58	27	85
Lead Time Max: 10.375	58	27	85
Lead Time Max: 10.5	61	24	85
Lead Time Max: 10.625	58	27	85
Lead Time Max: 10.75	56	29	85
Lead Time Max: 10.875	58	27	85
Lead Time Max: 11.0	58	27	85
Lead Time Max: 11.125	57	28	85
Lead Time Max: 11.25	54	31	85
Lead Time Max: 11.375	53	32	85
Lead Time Max: 11.5	72	13	85
Lead Time Max: 11.625	70	15	85
Lead Time Max: 11.75	62	23	85
Lead Time Max: 11.875	59	26	85
Lead Time Max: 12.0	67	18	85
Lead Time Max: 12.125	65	20	85
Lead Time Max: 12.25	62	23	85
Lead Time Max: 12.375	58	27	85
Lead Time Max: 12.5	55	30	85
Lead Time Max: 12.625	52	33	85
Lead Time Max: 12.75	52	33	85
Lead Time Max: 12.875	49	36	85
Lead Time Max: 13.0	49	36	85
Lead Time Max: 13.125	47	38	85

Tabla 37: Medio de transporte de abastecimientos - posibles escenarios.

Partiendo de las locaciones que son abiertas por cada modelo, se determina su valor estimado de ocupación, teniendo presente que el nivel de ocupación es determinado de la siguiente manera:

$$N.O_m = \frac{D + N.S_m}{C_m}$$

Donde:

$N.O_m$ = Nivel de Ocupación de la red para el modelo m .

D = Demanda total

$N.S_m$ = Necesidad de suministro para el modelo m

C_m = Sumatoria de las capacidad de las locaciones abiertas para el modelo m

Se puede observar que para modelos donde el lead time de la red es menor, se tiene un menor nivel de ocupación de las instalaciones, teniendo una capacidad ociosa dado por el número de centros abiertos.

MODELO	DEMANDA	NECESIDAD DE SUMINISTRO	ENV + SUM	CAPACIDAD.	NIVEL OCUPACIÓN
Lead Time Max: 6.6501	4.532.328	562.402	5.094.730	12.775.056	39,88%
Lead Time Max: 6.75	4.532.328	539.732	5.072.060	9.041.001	56,10%
Lead Time Max: 6.875	4.532.328	473.771	5.006.099	7.190.273	69,62%
Lead Time Max: 7.0	4.532.328	548.480	5.080.808	7.141.542	71,14%
Lead Time Max: 7.125	4.532.328	755.384	5.287.712	7.986.866	66,21%
Lead Time Max: 7.25	4.532.328	377.550	4.909.878	6.356.846	77,24%
Lead Time Max: 7.375	4.532.328	879.571	5.411.899	7.966.664	67,93%
Lead Time Max: 7.5	4.532.328	625.800	5.158.128	6.219.932	82,93%
Lead Time Max: 7.625	4.532.328	625.800	5.158.128	6.115.195	84,35%
Lead Time Max: 7.75	4.532.328	625.800	5.158.128	6.115.195	84,35%
Lead Time Max: 7.875	4.532.328	624.971	5.157.299	6.115.195	84,34%
Lead Time Max: 8.0	4.532.328	681.854	5.214.182	7.006.439	74,42%
Lead Time Max: 8.125	4.532.328	681.025	5.213.353	7.006.439	74,41%
Lead Time Max: 8.25	4.532.328	681.025	5.213.353	7.006.439	74,41%
Lead Time Max: 8.375	4.532.328	681.025	5.213.353	7.006.439	74,41%
Lead Time Max: 8.5	4.532.328	1.338.504	5.870.832	7.480.714	78,48%
Lead Time Max: 8.625	4.532.328	134.164	4.666.492	5.044.196	92,51%
Lead Time Max: 8.75	4.532.328	133.335	4.665.663	5.044.196	92,50%
Lead Time Max: 8.875	4.532.328	134.164	4.666.492	5.044.196	92,51%
Lead Time Max: 9.0	4.532.328	134.164	4.666.492	5.044.196	92,51%
Lead Time Max: 9.125	4.532.328	798.367	5.330.695	6.642.537	80,25%
Lead Time Max: 9.25	4.532.328	803.689	5.336.017	6.580.711	81,09%
Lead Time Max: 9.375	4.532.328	803.689	5.336.017	6.580.711	81,09%
Lead Time Max: 9.5	4.532.328	1.338.504	5.870.832	7.116.812	82,49%

Lead Time Max: 9.625	4.532.328	1.335.574	5.867.902	7.116.812	82,45%
Lead Time Max: 9.75	4.532.328	1.335.574	5.867.902	7.116.812	82,45%
Lead Time Max: 9.875	4.532.328	1.335.574	5.867.902	7.116.812	82,45%
Lead Time Max: 10.0	4.532.328	1.335.574	5.867.902	7.116.812	82,45%
Lead Time Max: 10.125	4.532.328	1.401.642	5.933.970	7.733.649	76,73%
Lead Time Max: 10.25	4.532.328	1.401.642	5.933.970	7.733.649	76,73%
Lead Time Max: 10.375	4.532.328	1.431.400	5.963.728	7.733.649	77,11%
Lead Time Max: 10.5	4.532.328	1.398.535	5.930.863	7.671.823	77,31%
Lead Time Max: 10.625	4.532.328	1.398.535	5.930.863	7.671.823	77,31%
Lead Time Max: 10.75	4.532.328	1.399.330	5.931.658	7.671.823	77,32%
Lead Time Max: 10.875	4.532.328	1.403.333	5.935.661	6.220.226	95,43%
Lead Time Max: 11.0	4.532.328	1.368.178	5.900.506	6.135.308	96,17%
Lead Time Max: 11.125	4.532.328	1.368.178	5.900.506	6.135.308	96,17%
Lead Time Max: 11.25	4.532.328	1.368.178	5.900.506	6.135.308	96,17%
Lead Time Max: 11.375	4.532.328	1.449.109	5.981.437	6.135.308	97,49%
Lead Time Max: 11.5	4.532.328	134.164	4.666.492	5.761.456	81,00%
Lead Time Max: 11.625	4.532.328	134.164	4.666.492	5.761.456	81,00%
Lead Time Max: 11.75	4.532.328	129.033	4.661.361	5.761.456	80,91%
Lead Time Max: 11.875	4.532.328	133.335	4.665.663	5.761.456	80,98%
Lead Time Max: 12.0	4.532.328	0	4.532.328	5.334.820	84,96%
Lead Time Max: 12.125	4.532.328	0	4.532.328	5.334.820	84,96%
Lead Time Max: 12.25	4.532.328	0	4.532.328	5.334.820	84,96%
Lead Time Max: 12.375	4.532.328	0	4.532.328	5.334.820	84,96%
Lead Time Max: 12.5	4.532.328	0	4.532.328	5.334.820	84,96%
Lead Time Max: 12.625	4.532.328	0	4.532.328	5.334.820	84,96%
Lead Time Max: 12.75	4.532.328	0	4.532.328	5.334.820	84,96%
Lead Time Max: 12.875	4.532.328	0	4.532.328	5.334.820	84,96%
Lead Time Max: 13.0	4.532.328	0	4.532.328	5.334.820	84,96%
Lead Time Max: 13.125	4.532.328	0	4.532.328	5.334.820	84,96%

Tabla 38: Nivel de ocupación plataformas logísticas por escenario.

Una vez identificamos las posibles configuraciones que puede tener la red de abastecimiento, estos son llevados a costos totales donde se puede identificar que, a un menor tiempo de entrega, se tiene un mayor costo de logístico.

MODELO	COSTO ABRIR	COSTO MANTENER	COSTO ENVIAR	COSTO SUMINISTRAR	COSTO TOTAL	TIEMPO ENVIO RED
LT: 6.6501	\$ 1.021.719.043	\$ 713.861.221	\$ 177.561.731	\$ 118.437.859	\$ 2.031.579.854	6,65
LT: 6.75	\$ 804.476.894	\$ 717.393.971	\$ 184.212.649	\$ 115.975.503	\$ 1.822.059.017	6,75
LT: 6.875	\$ 681.395.698	\$ 728.112.198	\$ 185.521.177	\$ 113.098.441	\$ 1.708.127.514	6,87
LT: 7.0	\$ 633.437.640	\$ 685.364.327	\$ 185.951.489	\$ 135.436.432	\$ 1.640.189.888	7,00
LT: 7.125	\$ 597.106.430	\$ 659.279.796	\$ 184.161.452	\$ 142.915.942	\$ 1.583.463.620	7,12
LT: 7.25	\$ 586.554.251	\$ 703.609.550	\$ 188.074.197	\$ 79.132.428	\$ 1.557.370.426	7,25
LT: 7.375	\$ 551.038.631	\$ 616.527.803	\$ 179.368.758	\$ 173.615.715	\$ 1.520.550.907	7,37
LT: 7.5	\$ 524.478.400	\$ 664.310.050	\$ 191.401.290	\$ 112.558.440	\$ 1.492.748.180	7,50
LT: 7.625	\$ 494.381.311	\$ 660.378.470	\$ 199.019.333	\$ 112.558.440	\$ 1.466.337.554	7,62
LT: 7.75	\$ 494.381.311	\$ 660.378.346	\$ 187.021.662	\$ 112.558.440	\$ 1.454.339.759	7,75

LT: 7.875	\$ 494.381.311	\$ 660.166.490	\$ 176.797.573	\$ 112.370.257	\$ 1.443.715.631	7,87
LT: 8.0	\$ 463.767.791	\$ 630.490.898	\$ 214.064.167	\$ 120.824.078	\$ 1.429.146.934	8,00
LT: 8.125	\$ 463.767.791	\$ 630.605.048	\$ 199.250.458	\$ 120.635.895	\$ 1.414.259.192	8,12
LT: 8.25	\$ 463.767.791	\$ 630.605.052	\$ 187.964.256	\$ 120.635.895	\$ 1.402.972.994	8,25
LT: 8.375	\$ 463.767.791	\$ 630.605.048	\$ 180.681.309	\$ 120.635.895	\$ 1.395.690.043	8,37
LT: 8.5	\$ 434.050.484	\$ 525.279.584	\$ 193.403.093	\$ 232.121.144	\$ 1.384.854.305	8,50
LT: 8.625	\$ 434.875.311	\$ 691.717.058	\$ 217.093.196	\$ 30.455.228	\$ 1.374.140.793	8,62
LT: 8.75	\$ 434.875.311	\$ 691.842.308	\$ 204.837.192	\$ 30.267.045	\$ 1.361.821.856	8,75
LT: 8.875	\$ 434.875.311	\$ 691.717.084	\$ 193.700.925	\$ 30.455.228	\$ 1.350.748.548	8,87
LT: 9.0	\$ 434.875.311	\$ 691.717.168	\$ 187.493.902	\$ 30.455.228	\$ 1.344.541.609	9,00
LT: 9.125	\$ 413.840.631	\$ 586.155.492	\$ 194.652.607	\$ 139.997.325	\$ 1.334.646.055	9,12
LT: 9.25	\$ 407.578.440	\$ 584.935.228	\$ 192.896.632	\$ 140.875.455	\$ 1.326.285.755	9,25
LT: 9.375	\$ 407.578.440	\$ 584.935.224	\$ 189.462.434	\$ 140.875.455	\$ 1.322.851.553	9,37
LT: 9.5	\$ 384.123.324	\$ 493.308.568	\$ 202.328.607	\$ 232.121.144	\$ 1.311.881.643	9,50
LT: 9.625	\$ 384.123.324	\$ 493.749.511	\$ 195.107.545	\$ 231.586.296	\$ 1.304.566.676	9,62
LT: 9.75	\$ 384.123.324	\$ 493.749.511	\$ 191.673.347	\$ 231.586.296	\$ 1.301.132.478	9,75
LT: 9.875	\$ 384.123.324	\$ 493.749.511	\$ 188.897.424	\$ 231.586.296	\$ 1.298.356.555	9,87
LT: 10.0	\$ 384.123.324	\$ 493.700.033	\$ 187.340.274	\$ 231.289.428	\$ 1.296.453.059	9,98
LT: 10.125	\$ 365.306.504	\$ 482.544.630	\$ 209.224.214	\$ 233.958.802	\$ 1.291.034.150	10,12
LT: 10.25	\$ 365.306.504	\$ 482.544.630	\$ 203.046.857	\$ 233.958.802	\$ 1.284.856.793	10,25
LT: 10.375	\$ 365.306.504	\$ 479.162.192	\$ 198.393.336	\$ 238.866.892	\$ 1.281.728.924	10,37
LT: 10.5	\$ 359.044.313	\$ 481.700.271	\$ 203.959.270	\$ 233.368.523	\$ 1.278.072.377	10,49
LT: 10.625	\$ 359.044.313	\$ 481.700.271	\$ 200.446.521	\$ 233.368.523	\$ 1.274.559.628	10,62
LT: 10.75	\$ 359.044.313	\$ 481.573.866	\$ 197.816.489	\$ 233.481.274	\$ 1.271.915.942	10,75
LT: 10.875	\$ 352.903.733	\$ 482.279.143	\$ 200.467.399	\$ 234.122.173	\$ 1.269.772.448	10,87
LT: 11.0	\$ 346.424.236	\$ 485.176.058	\$ 205.239.723	\$ 228.180.978	\$ 1.265.020.995	11,00
LT: 11.125	\$ 346.424.236	\$ 485.176.058	\$ 201.977.076	\$ 228.180.978	\$ 1.261.758.348	11,12
LT: 11.25	\$ 346.424.236	\$ 485.176.058	\$ 199.495.044	\$ 228.180.978	\$ 1.259.276.316	11,25
LT: 11.375	\$ 346.424.236	\$ 475.581.937	\$ 193.278.414	\$ 241.858.317	\$ 1.257.142.904	11,37
LT: 11.5	\$ 380.320.733	\$ 624.729.292	\$ 210.286.304	\$ 30.455.228	\$ 1.245.791.557	11,50
LT: 11.625	\$ 380.320.733	\$ 624.729.292	\$ 199.000.102	\$ 30.455.228	\$ 1.234.505.355	11,62
LT: 11.75	\$ 380.320.733	\$ 625.262.916	\$ 192.108.092	\$ 29.290.491	\$ 1.226.982.232	11,75
LT: 11.875	\$ 380.320.733	\$ 624.815.508	\$ 188.234.237	\$ 30.267.045	\$ 1.223.637.523	11,87
LT: 12.0	\$ 354.157.075	\$ 638.682.348	\$ 222.782.555	\$ 0	\$ 1.215.621.978	12,00
LT: 12.125	\$ 354.157.075	\$ 638.682.348	\$ 211.504.490	\$ 0	\$ 1.204.343.913	12,12
LT: 12.25	\$ 354.157.075	\$ 638.682.348	\$ 201.713.392	\$ 0	\$ 1.194.552.815	12,25
LT: 12.375	\$ 354.157.075	\$ 638.682.348	\$ 197.916.222	\$ 0	\$ 1.190.755.645	12,37
LT: 12.5	\$ 354.157.075	\$ 638.682.348	\$ 195.287.507	\$ 0	\$ 1.188.126.930	12,49
LT: 12.625	\$ 354.157.075	\$ 638.682.348	\$ 193.196.858	\$ 0	\$ 1.186.036.281	12,62
LT: 12.75	\$ 354.157.075	\$ 638.682.348	\$ 191.865.402	\$ 0	\$ 1.184.704.825	12,74
LT: 12.875	\$ 354.157.075	\$ 638.682.348	\$ 190.979.873	\$ 0	\$ 1.183.819.296	12,87

LT: 13.0	\$ 354.157.075	\$ 638.682.348	\$ 190.533.352	\$ 0	\$ 1.183.372.775	13,00
LT: 13.125	\$ 354.157.075	\$ 638.682.348	\$ 190.290.433	\$ 0	\$ 1.183.129.856	13,10

Tabla 39: Costo total mensual por escenario (Modelos de Optimización)

Analizando los costos asociados a abrir se observa que estos tienen a ser mayores para modelos donde los tiempos de entrega son menor, puesto que implica realizar apertura de plataformas logísticas en una mayor proporción.



Figura 21: Comportamiento Costo de abrir por modelo.

Los costos asociados a mantener inventarios, tiene tendencia a ser menor en modelos donde los tiempos de entrega están entre 9.5 y 11.375 debido al mayor uso de plataformas CrossDocking.

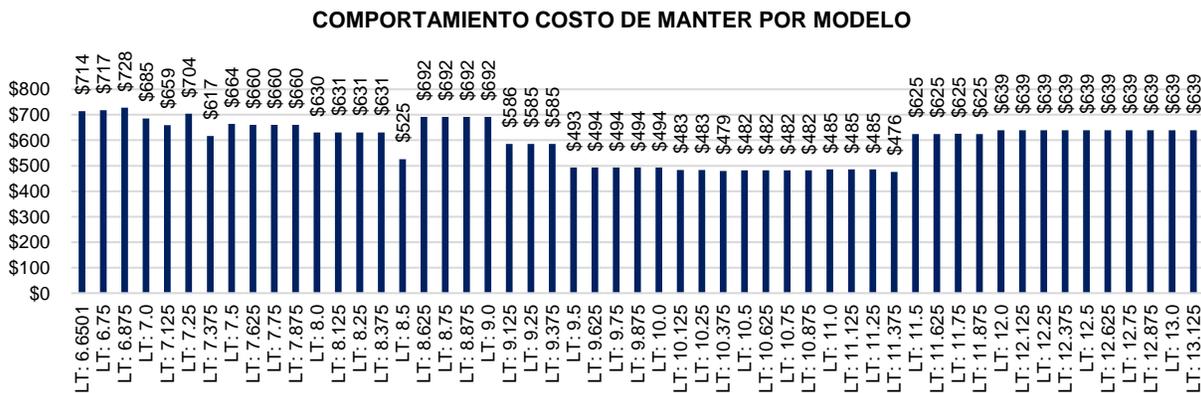


Figura 22: Comportamiento Costo de mantener el inventario por Modelo.

Los costos asociados al envío de mercancías desde las diferentes plataformas de abastecimiento a los establecimientos farmacéuticos no presentan variaciones de manera relevante entre los modelos propuestos.

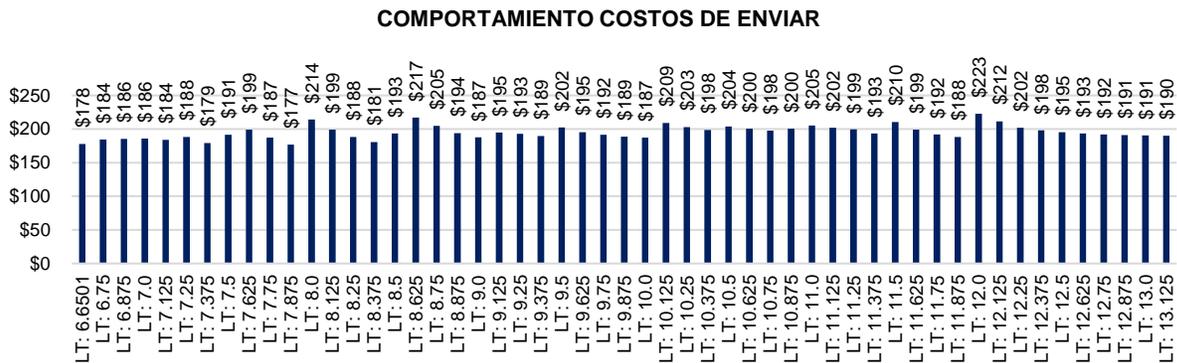


Figura 23: Comportamiento costo de enviar por modelo.

El costo de suministro varía de manera significativa en los modelos donde se de mayor apertura de plataformas de tipo CrossDocking y requieren abastecimiento desde los Centros de Abastecimiento y distribución; para modelos de mayor Lead Time, el abastecimiento se hace en mayor proporción desde los Centros de Abastecimiento, donde no se tienen costos asociados a este concepto, pues el suministro de medicamentos es realizado directamente por los proveedores.

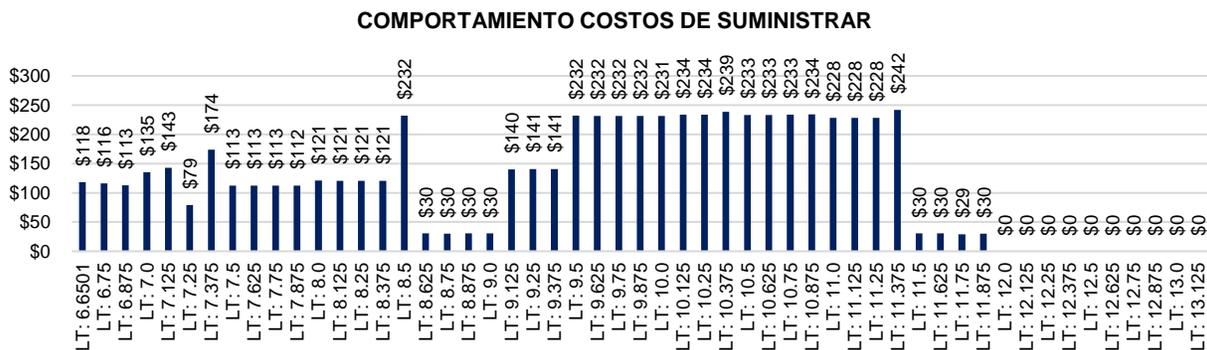


Figura 24: Comportamiento Costo de suministrar por modelo.

Por último, podemos determinar que los Costos totales son inversamente proporcionales con los tiempos de entrega, como se puede observar en la siguiente gráfica.

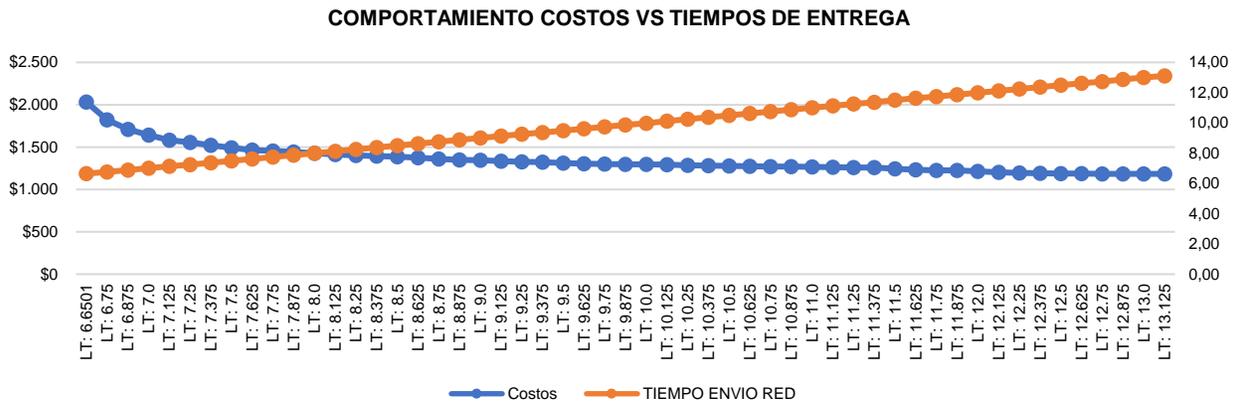


Figura 25: Comparación Costo total versus Tiempos de entrega por modelo.

6.4.2.4. Análisis Caso Base

Comparado el caso base con las diferentes configuraciones de red, se identifica que esta configuración está basada en un modelo de menor costo logístico, sin estar optimizado, puesto que bajo un costo de \$1.246 millones se tienen configuración con menores tiempo de entrega y modelos con lead time por las 11.5 horas, cuenta con un costo logístico total menor.

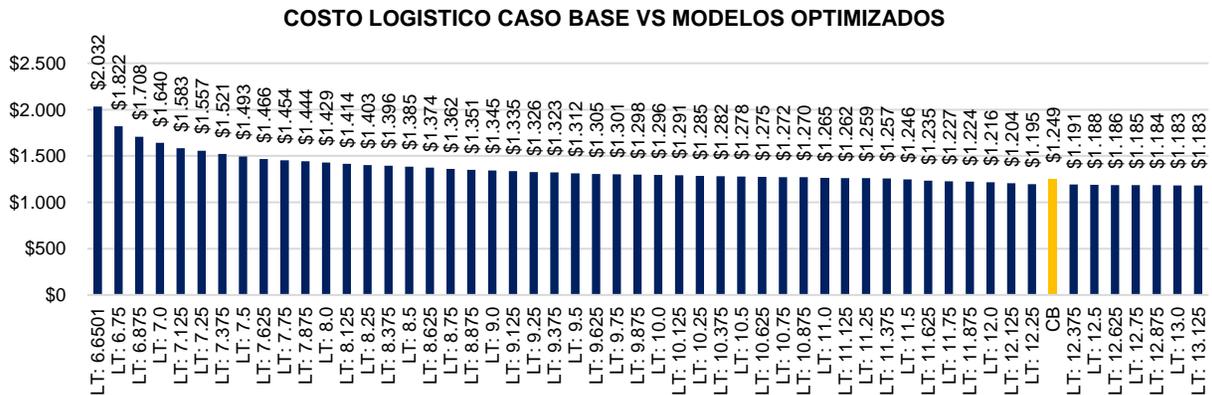


Figura 26: Costo logístico Caso Base vs Modelos Propuestos.

7.Recomendaciones

En este capítulo se establecerán algunas recomendaciones desde un punto de vista Operativo, Táctico y Estratégico, basándonos en los resultados del modelo de optimización y la caracterización del caso base.

Operativo

Teniendo presente que el modelo identificado en el caso base esta dado en función a minimizar los costos totales de operación, como acción a corto plazo se debería cambiar el modo de transportes en 33 de los arcos de la red, con el fin de disminuir los costos de envío mes en \$56.235.158 aproximadamente, sin incurrir en cambios de cambio de locaciones, apertura o cierre de plataformas de abastecimiento.

UBICACION GRUPO	GRUPO	DEMANDA	CEDIS	MODO	C. ENVIO	NUEVO MODO	NUEVO. C ENVIO	DIFERENCIA
APARTADO	GD-001	11.263	CD-002	CM	\$ 14.754.530	PQ	\$ 4.020.891	\$ 10.733.639
CARMEN DE VIBORAL	GD-004	9.436	CD-002	CM	\$ 1.679.608	PQ	\$ 1.604.120	\$ 75.488
DON MATIAS	GD-006	5.046	CD-002	CM	\$ 1.544.076	PQ	\$ 1.236.270	\$ 307.806
EL RETIRO	GD-007	1.460	CD-002	CM	\$ 1.156.320	PQ	\$ 207.320	\$ 949.000
GIRARDOTA	GD-009	20.754	CD-002	CM	\$ 3.756.474	PQ	\$ 2.220.678	\$ 1.535.796
GUARNE	GD-010	6.109	CD-002	CM	\$ 1.960.989	PQ	\$ 720.862	\$ 1.240.127
MARINILLA	GD-013	11.720	CD-002	CM	\$ 4.148.880	PQ	\$ 1.722.840	\$ 2.426.040
SANTA ROSA DE OSOS	GD-020	3.037	CD-002	CM	\$ 1.703.757	PQ	\$ 1.014.358	\$ 689.399
YARUMAL	GD-021	1.818	CD-002	CM	\$ 1.232.604	PQ	\$ 621.756	\$ 610.848
CARTAGENA	GD-033	19.186	CD-001	PQ	\$ 5.986.032	CM	\$ 5.468.010	\$ 518.022
MONQUIRA	GD-036	1.840	CD-001	CM	\$ 3.374.560	PQ	\$ 644.000	\$ 2.730.560
PAIPA	GD-037	6.526	CD-001	CM	\$ 3.321.734	PQ	\$ 1.814.228	\$ 1.507.506
VILLA DE LEYVA	GD-040	4.302	CD-001	CM	\$ 3.101.742	PQ	\$ 1.019.574	\$ 2.082.168
VILLAPINZON	GD-041	829	CD-001	CM	\$ 819.881	PQ	\$ 304.243	\$ 515.638
MANIZALES	GD-042	12.621	CD-001	CM	\$ 3.862.026	PQ	\$ 2.928.072	\$ 933.954
FLORENCIA	GD-043	11.397	CD-001	CM	\$ 5.960.631	PQ	\$ 5.550.339	\$ 410.292
ANAPOIMA	GD-046	4.238	CD-001	CM	\$ 2.080.858	PQ	\$ 1.245.972	\$ 834.886
COTA	GD-049	4.606	CD-001	CM	\$ 1.257.438	PQ	\$ 713.930	\$ 543.508
GUADUAS	GD-054	1.600	CD-001	PQ	\$ 465.600	CM	\$ 443.200	\$ 22.400
LA CALERA	GD-055	1.444	CD-001	CM	\$ 612.256	PQ	\$ 181.944	\$ 430.312
MADRID	GD-057	7.334	CD-001	CM	\$ 1.818.832	PQ	\$ 1.276.116	\$ 542.716
MOSQUERA	GD-060	5.401	CD-001	CM	\$ 982.982	PQ	\$ 815.551	\$ 167.431
RICAUARTE	GD-062	5.930	CD-001	CM	\$ 1.950.970	PQ	\$ 1.553.660	\$ 397.310
TOCANCIPA	GD-066	3.454	CD-001	CM	\$ 1.177.814	PQ	\$ 514.646	\$ 663.168
UBATE	GD-067	3.057	CD-001	CM	\$ 1.947.309	PQ	\$ 1.057.722	\$ 889.587
ACACIAS	GD-072	3.020	CD-001	CM	\$ 3.593.800	PQ	\$ 1.522.080	\$ 2.071.720
RESTREPO	GD-073	2.419	CD-001	CM	\$ 2.989.884	PQ	\$ 1.478.009	\$ 1.511.875
PEREIRA	GD-076	6.133	CD-001	CM	\$ 3.195.293	PQ	\$ 1.453.521	\$ 1.741.772
BARRANCABERMEJA	GD-077	5.770	CD-001	CM	\$ 5.423.800	PQ	\$ 1.898.330	\$ 3.525.470
FLORIDABLANCA	GD-079	11.018	CD-001	CM	\$ 7.459.186	PQ	\$ 1.784.916	\$ 5.674.270
MELGAR	GD-058	2.272	CD-001	CM	\$ 2.222.016	PQ	\$ 620.256	\$ 1.601.760
CARTAGO	GD-084	1.232	CD-001	CM	\$ 3.697.232	PQ	\$ 369.600	\$ 3.327.632
PALMIRA	GD-085	2.669	CD-001	CM	\$ 5.604.900	PQ	\$ 581.842	\$ 5.023.058

Tabla 40: Listado de arcos a cambiar modo de envío - Caso Base.

Con este ajuste, los nuevos costos totales de operación estarían estimados en \$1.184 millones con un lead tiempo de entrega de 12.95 para toda la red.

CENTRO	NOMBRE	COSTO ABRIR	COSTO MANTENER	COSTO SUMINISTRO	COSTO ENVIAR	COSTO TOTAL	LT
CD-001	CEDIS FUNZA	\$ 195.633.537	\$ 351.893.295	0	\$ 134.894.576	\$ 682.421.408	15,61
CD-002	CEDIS COPACABANA	\$ 158.523.538	\$ 283.079.517	0	\$ 60.169.807	\$ 501.772.862	9,35
		\$ 354.157.075	\$ 634.972.812	\$ 0	\$ 195.064.383	\$ 1.184.194.270	12,95

Tabla 41: Costo total Caso base - Recomendación Operativa.

Teniendo presente la importancia que tiene el diseño de una instalación al representar inversiones con retornos a largo plazo y que al final entrará dentro de los factores de diseño de una red de abastecimiento eficiente, se propone la metodología presente en el **ANEXO A** para el diseño de las instalaciones, donde se busca incluir todas las variables que al final se traducen en costos de la red. Se definen 7 criterios de diseño, llegando hasta 2 niveles de desagregación o detalle; esto con el fin de estimar los costos de la red con un alto grado de asertividad.

CRITERIO DE DISEÑO	NIVEL 1
1. Capacidad Estimada	Determinar la demanda máxima a atender
2. Posiciones de almacenamiento	Medicamentos Regulares
	Medicamentos Alto Costo
	Medicamentos Refrigerados
3. Metros Cuadrados	Metros Cuadrados de Almacenamiento
	Metros Cuadrados Recepción de Mercancías
	Metros Cuadrados Salida de mercancías
	Metros Cuadrados Otros Procesos
4. Estructura de Personal	Coordinador de Operaciones
	Director Técnico
	Supervisor de Operaciones
	Auxiliar de Información
	Montacarguista
5. Dotaciones	Auxiliar de Operaciones
	Embalaje para Packing
	Estibas Plásticas
	Terminales de Radiofrecuencia
	Carros de Picking
6. Adecuaciones Civiles	Equipos de Computo
	Eléctrico - Voz y Datos
	Obra Civil

7. Otros Conceptos	Red Contra Incendios
	Cuarto Frío
	Suplencia Eléctrica
	Servicios de Aseo
	Vigilancia
	Servicios Públicos
	Pólizas y Seguros
Arrendamiento Maquinaria y Equipo	

Tabla 42: Metodología de diseño plataformas de abastecimiento (Elaboración Propia).

Táctico

Se considera que la cadena de abastecimiento para productos farmacéuticos debe estar enfocada a llegar en el menor tiempo posible por tanto teniendo presente que actualmente se tienen unos costos logísticos totales de \$1.246 millones, bajo este costo se puede implementar el modelo de red de distribución arrojado por la configuración de LT: 11.5 horas, mejorando considerablemente los tiempos de atención.

CENTRO	NOMBRE	ABASTECIMIENTO	SUMINISTRO	COSTO ABRIR
CD-001	CEDIS FUNZA	1		\$ 195.633.537
CD-002	CEDIS COPACABANA	1		\$ 158.523.538
ND-006	NODO TUNJA		1	\$ 23.330.587
ZC-030	CROSS SOGAMOSO	1		\$ 2.833.071

Tabla 43: Plataformas Abiertas - Modelo LT: 11.5

DEPARTAMENTO GRUPO	UBICACION GRUPO	GRUPO	T. TRANSPORTE	CEDI	DEMANDA.	TIEMPO TOTAL
ANTIOQUIA	APARTADO	GD-001	CM	CD-002	11.263	24
ANTIOQUIA	BELLO	GD-002	CM	CD-002	161.098	8
ANTIOQUIA	CALDAS	GD-003	CM	CD-002	36.297	8
ANTIOQUIA	CARMEN DE VIBORAL	GD-004	CM	CD-002	9.436	8
ANTIOQUIA	COPACABANA	GD-005	CM	CD-002	29.579	8
ANTIOQUIA	DON MATIAS	GD-006	CM	CD-002	5.046	8
ANTIOQUIA	EL RETIRO	GD-007	CM	CD-002	1.460	8
ANTIOQUIA	ENVIGADO	GD-008	CM	CD-002	123.405	8
ANTIOQUIA	GIRARDOTA	GD-009	CM	CD-002	20.754	8
ANTIOQUIA	GUARNE	GD-010	CM	CD-002	6.109	8
ANTIOQUIA	ITAGUI	GD-011	CM	CD-002	109.622	8
ANTIOQUIA	LA CEJA	GD-012	CM	CD-002	29.284	8
ANTIOQUIA	MARINILLA	GD-013	CM	CD-002	11.720	12
ANTIOQUIA	MED - CENTRO	GD-014	CM	CD-002	540.512	8
ANTIOQUIA	MED - NORTE	GD-015	CM	CD-002	232.977	8
ANTIOQUIA	MED - OCCIDENTE	GD-016	CM	CD-002	275.069	8
ANTIOQUIA	MED - SUR	GD-017	CM	CD-002	190.828	8
ANTIOQUIA	RIONEGRO	GD-018	CM	CD-002	95.722	8
ANTIOQUIA	SABANETA	GD-019	CM	CD-002	30.675	8

ANTIOQUIA	SANTA ROSA DE OSOS	GD-020	CM	CD-002	3.037	12
ANTIOQUIA	YARUMAL	GD-021	CM	CD-002	1.818	12
ATLANTICO	BARRANQUILLA	GD-022	CM	CD-002	19.991	36
BOGOTA	BOG - NORTE 1	GD-023	CM	CD-001	131.776	12
BOGOTA	BOG - NORTE 2	GD-024	CM	CD-001	198.567	12
BOGOTA	BOG - NORTE 3	GD-025	CM	CD-001	124.278	12
BOGOTA	BOG - OCCIDENTE 1	GD-026	CM	CD-001	178.353	12
BOGOTA	BOG - OCCIDENTE 2	GD-027	CM	CD-001	117.342	12
BOGOTA	BOG - OCCIDENTE 3	GD-028	CM	CD-001	237.103	12
BOGOTA	BOG - ORIENTE	GD-029	CM	CD-001	118.106	12
BOGOTA	BOG - SUR 1	GD-030	CM	CD-001	144.041	12
BOGOTA	BOG - SUR 2	GD-031	CM	CD-001	139.844	12
BOGOTA	BOG - SUR 3	GD-032	CM	CD-001	49.478	12
BOLIVAR	CARTAGENA	GD-033	CM	CD-002	19.186	36
BOYACA	CHIQUINQUIRA	GD-034	CM	ZC-030	9.994	9
BOYACA	DUITAMA	GD-035	CM	ZC-030	34.922	6
BOYACA	MONIQUIRA	GD-036	CM	ZC-030	1.840	6
BOYACA	PAIPA	GD-037	CM	ZC-030	6.526	6
BOYACA	SOGAMOSO	GD-038	CM	ZC-030	45.047	6
BOYACA	TUNJA	GD-039	CM	ZC-030	30.704	6
BOYACA	VILLA DE LEYVA	GD-040	CM	ZC-030	4.302	6
BOYACA	VILLAPINZON	GD-041	CM	ZC-030	829	9
CALDAS	MANIZALES	GD-042	PQ	CD-002	12.621	24
CAQUETA	FLORENCIA	GD-043	CM	CD-001	11.397	24
CASANARE	YOPAL	GD-044	CM	CD-001	15.060	24
CESAR	VALLEDUPAR	GD-045	PQ	CD-002	1.875	72
CUNDINAMARCA	ANAPOIMA	GD-046	CM	CD-001	4.238	12
CUNDINAMARCA	CAJICA	GD-047	CM	CD-001	17.792	3
CUNDINAMARCA	CHIA	GD-048	CM	CD-001	38.915	3
CUNDINAMARCA	COTA	GD-049	CM	CD-001	4.606	12
CUNDINAMARCA	FACATATIVA	GD-050	CM	CD-001	20.569	12
CUNDINAMARCA	FUNZA	GD-051	CM	CD-001	39.130	3
CUNDINAMARCA	FUSAGASUGA	GD-052	CM	CD-001	62.052	12
CUNDINAMARCA	GIRARDOT	GD-053	CM	CD-001	56.750	12
CUNDINAMARCA	GUADUAS	GD-054	CM	CD-001	1.600	12
CUNDINAMARCA	LA CALERA	GD-055	PQ	CD-001	1.444	24
CUNDINAMARCA	LA MESA	GD-056	CM	CD-001	16.391	12
CUNDINAMARCA	MADRID	GD-057	CM	CD-001	7.334	3
CUNDINAMARCA	MESITAS	GD-059	CM	CD-001	3.434	12
CUNDINAMARCA	MOSQUERA	GD-060	CM	CD-001	5.401	3
CUNDINAMARCA	PACHO	GD-061	CM	CD-001	2.309	12
CUNDINAMARCA	RICARTE	GD-062	CM	CD-001	5.930	12
CUNDINAMARCA	SOACHA	GD-063	CM	CD-001	96.221	12
CUNDINAMARCA	SUESCA	GD-064	CM	CD-001	3.880	12
CUNDINAMARCA	TABIO	GD-065	CM	CD-001	2.101	12
CUNDINAMARCA	TOCANCIPA	GD-066	CM	CD-001	3.454	12
CUNDINAMARCA	UBATE	GD-067	PQ	CD-001	3.057	24
CUNDINAMARCA	VILLETEA	GD-068	CM	CD-001	8.149	12
CUNDINAMARCA	ZIPAQUIRA	GD-069	CM	CD-001	36.314	12
HUILA	NEIVA	GD-070	CM	CD-002	58.005	24
MAGDALENA	SANTA MARTA	GD-071	CM	CD-002	5.754	36

META	ACACIAS	GD-072	PQ	CD-001	3.020	24
META	RESTREPO	GD-073	PQ	CD-001	2.419	24
META	VILLAVICENCIO	GD-074	CM	CD-001	43.703	24
QUINDIO	ARMENIA	GD-075	CM	CD-002	63.022	24
RISARALDA	PEREIRA	GD-076	PQ	CD-002	6.133	24
SANTANDER	BARRANCABERMEJA	GD-077	PQ	CD-001	5.770	48
SANTANDER	BUCARAMANGA	GD-078	CM	CD-002	57.921	24
SANTANDER	FLORIDABLANCA	GD-079	PQ	CD-001	11.018	48
TOLIMA	ESPINAL	GD-080	CM	CD-001	20.770	12
TOLIMA	IBAGUE	GD-081	CM	CD-001	95.612	12
TOLIMA	MELGAR	GD-058	PQ	CD-001	2.272	24
VALLE	BUGA	GD-082	PQ	CD-001	5.774	48
VALLE	CALI	GD-083	CM	CD-002	127.270	24
VALLE	CARTAGO	GD-084	PQ	CD-001	1.232	24
VALLE	PALMIRA	GD-085	PQ	CD-001	2.669	24

Tabla 44: Configuración Red de abastecimiento Modelo LT:11.5

Modelo	Costo abrir	Costo Mantener	Costo enviar	Costo Suministrar	Costo Total	Tiempo de Entrega Red
LT: 11.5	\$ 380.320.733	\$ 624.729.292	\$ 210.286.304	\$ 30.455.228	\$1.245.791.557	11,50

Tabla 45: Costos Totales - Modelo LT: 11.5

Estratégico

Establecer el valor máximo permitido entre disminuir los tiempos de entrega y aumentar los costos logísticos totales, que se ajusten a la estrategia establecida por la corporación, con el desarrollo del ejercicio se presentan diferentes configuraciones donde se garantiza el modelo óptimo en función a unos tiempos de entrega para la red como se puede observar en la **Figura 26**.

La implementación de nuevas locaciones implica realizar inversiones a largo plazo, dentro del desarrollo del ejercicio se estableció un modelo de amortización a 60 meses para las inversiones que requiere una nueva locación; pero no se entre en realizar un análisis de financiero donde se evalúen un modelo de retorno de la inversión, siendo este un factor de decisión a la hora de seleccionar cualquiera de estos modelos.

Desde desarrollo del trabajo identificamos el modelo LT:7,25 como el modelo donde todos los establecimientos farmacéuticos son entregados en un tiempo no mayor a 24 horas, por lo cual se podría tomar este modelo para implementar en un largo plazo teniendo presente que implica tener alrededor de 11 plataformas logísticas con un costo logístico total mes de \$1.557.370.426

Modelo	Costo abrir	Costo Mantener	Costo enviar	Costo Suministrar	Costo Total	Tiempo de Entrega Red
LT: 7.25	\$ 586.554.251	\$ 703.609.550	\$ 188.074.197	\$ 79.132.428	\$1.557.370.426	7,25

Tabla 46: Costos Totales - Modelo LT: 7.25

8. Conclusiones

A partir de un caso de estudio, se realizó el proceso de caracterización de la red logística de productos farmacéuticos desde un enfoque de red saliente, mediante un modelo mixto donde se utilizaron técnicas de tipo cualitativo y cuantitativo, se establece el modelo conceptual de la red, los actores que la conforman y su función dentro de la red, las características del producto y sus condiciones particulares; finalizando con la identificación de los modelos y medios de transporte. A partir de un estudio bibliométrico se determina que las principales variables a tener presente a la hora de realizar el diseño de la red de abastecimiento es la localización, las capacidades y los costos de la red; donde en los últimos años se ha empezado a manejar los múltiples objetivos por lo cual dentro del desarrollo del trabajo se manejaron 2 funciones objetivos (Minimizar los costos y Minimizar los tiempos de respuesta).

Dentro del proceso de modelado de la red logística, se realizó una propuesta conceptual de red de abastecimiento a partir del proceso cualitativo donde se propuso contar con otros tipos de plataformas de abastecimiento con el fin de tener un grado de versatilidad en la red y evaluar las diferentes configuraciones. Basado en la información de la demanda, el número de establecimientos de la red y su respectiva localización, se establecen las posibles plataformas de abastecimiento y su ubicación; realizando una segmentación por cada tipo de plataforma de abastecimiento (Centro de Abastecimiento, Nodo de Abastecimiento, Plataforma CrossDocking) lo cual permite establecer las capacidades máximas de estas posibles localizaciones. Se desarrolló una metodología para el diseño de las plataformas de abastecimiento donde se tuvieron presente aspectos como : posiciones de almacenamiento, metros cuadrados, estructura de personal, dotaciones, entre otros. Como resultado se obtuvo la matriz de costos fijos asociados a realizar la apertura de una localización factible y la matriz de costos variables asociados a movilizar una unidad por medio es estas localizaciones factibles. Otros dos factores para tener presente dentro del diseño de la red son los costos y tiempos de envío y suministro, por lo cual se establecieron los arcos factibles con sus respectivos costos y tiempos de atención.

Partiendo del diseño conceptual propuesto y las características de la red; se realizó el modelo matemático para la optimización de la red; para esto fue necesario contar con 2 funciones objetivos; mediante la utilización de software de programación y optimización se pudo resolver el problema de cómo debe ser la configuración de la red logística en función de costos y tiempos

de respuesta; teniendo como resultado una serie de configuraciones de red los cuales son posible escenarios que son óptimos en función de cada restricción de tiempo de respuesta.

Al final se compara la configuración de actual de la red con los escenarios arrojados por el modelo, donde se identifica que la red no está optimizada puesto que para los tiempos de entrega actuales se tienen costos bastante elevados donde aplicando modelos de diseño de red de abastecimiento se pueden disminuir los costos totales de la red en un 5% que equivalen aproximadamente a \$670 millones por año; se presentan recomendaciones en de tipo Operativo, Táctico y Estratégico, las cuales pueden ser implementadas en un corto, mediano y largo plazo respectivamente; y le apuntan de manera directa a tener una red eficiente en función de costos y tiempos de respuesta.

Como conclusión este trabajo permite identificar que es necesario contar un proceso de diseño de red de abastecimiento (Supply Network Design) el cuál debe ser validado de manera constante con el fin de no tener sobrecostos en la red y poder identificar en qué momento es necesario realizar un cambio en su configuración.

Para futuras investigaciones con base en este modelo se proponen 4 acciones futuras:

La primera es integrar dentro del modelo, el capítulo de suministro de producto desde el proveedor partiendo que dentro de la industria farmacéutica se identifica alrededor de 300 laboratorios y se debería evaluar la capacidad de entrega a lo largo de las locaciones factibles a nivel país, es variable modifica de manera sustancial la configuración de la red al generar nuevos arcos internos de suministro para líneas de producto con restricción regional de abastecimiento directo por los laboratorios, modificando los costos totales de la red.

La segunda es incluir el impacto financiero asociado al aumento de días de inventario en la red, incurrido por la apertura de nuevas locaciones, el aumento en los inventarios representa un mayor flujo de caja, aumento en capital de trabajo y efectos en pérdida de producto por deterioro y vencimiento; estas variables deben ser integradas dentro de los costos asociados a abrir una nueva plataforma de abastecimiento.

La tercera es evaluar los tiempos asociados a los procesos de preparación de pedidos⁷ dentro de las plataformas de abastecimientos; bajo el caso de estudio se identificaron tiempos sobre las 24

⁷ Preparación de pedidos: Proceso asociados a la recepción de pedidos, alistamiento, certificación y empaque.

horas, los cuales se consideran elevados y son susceptibles a disminuir generando un impacto positivo al lead time de la red; estas evaluaciones puede ir desde cambios en las metodologías internas dentro del almacén hasta cambio en el modelo logístico mediante procesos automatizados, semiautomatizados y mecanizados, las cuales implican inversiones iniciales con retornos futuros impactando positivamente el costo logístico total de la red.

Por último se propone analizar el impacto de los costos fijos dentro de los costos totales de operación a lo largo del tiempo, a partir de la modificación de los tiempos de amortización de las inversiones iniciales, cambios por impactos macroeconómicos como la variación anual el IPC entre otros factores.

Bibliografía

- Alzaman, C., Zhang, Z. H., & Diabat, A. (2018). Supply chain network design with direct and indirect production costs: Hybrid gradient and local search based heuristics. *International Journal of Production Economics*, 203(May), 203–215. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.06.004>
- Ambrosino, D., & Grazia Scutellà, M. (2005). Distribution network design: New problems and related models. *European Journal of Operational Research*, 165(3), 610–624. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2003.04.009>
- BALLOU. (2004). *BALLOU. Logística. Administración de la Cadena de Suministro (1).pdf*.
- Bernal, C. A. (2016). *Metodología de la investigación* (T. Edición (ed.); Vol. 4, Issue 1).
- Biuki, M., Kazemi, A., & Alinezhad, A. (2020). An integrated location-routing-inventory model for sustainable design of a perishable products supply chain network. *Journal of Cleaner Production*, 260, 120842. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120842>
- Castrillón R, M. L. (2018). Análisis Sector Farmacéutico. *Estudios Sobre La Bioeconomía Como Fuente de Nuevas Industrias Basadas En El Capital Natural de Colombia*, 30. https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/ejes-tematicos/Bioeconomia/Informe 2/ANEXO 5_Análisis sector farmaceutico.pdf
- Chatzikontidou, A., Longinidis, P., Tsiakis, P., & Georgiadis, M. C. (2017). Flexible supply chain network design under uncertainty. *Chemical Engineering Research and Design*, 128, 290–305. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2017.10.013>
- Chopra, S. (2003). *Designing the distribution network in a supply chain*. 39, 123–140.
- Coelho, L. C., & Laporte, G. (2014). Optimal joint replenishment, delivery and inventory management policies for perishable products. *Computers and Operations Research*, 47, 42–52. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2014.01.013>
- Creswell, J. W. (2008). *RESEARCH DESIGN: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (Third Edit).
- Darestani, S. A., & Hemmati, M. (2019). Robust optimization of a bi-objective closed-loop supply chain network for perishable goods considering queue system. *Computers and Industrial Engineering*, 136(February), 277–292. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.07.018>
- EMIS. (2020). *Industry Report Healthcare Colombia*.
- Emis, A., & Industry, I. (2020). *COLOMBIA PHARMA & HEALTHCARE SECTOR 2020/2021*.
- Farahani, R. Z., Rezapour, S., Drezner, T., & Fallah, S. (2014). Competitive supply chain network design: An overview of classifications, models, solution techniques and applications. *Omega (United Kingdom)*, 45, 92–118. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2013.08.006>
- FINCA RAIZ. (2020). <https://www.fincaraiz.com.co/>. <https://www.fincaraiz.com.co/>

- Gen, M., Lin, L., Yun, Y. S., & Inoue, H. (2018). Recent advances in hybrid priority-based genetic algorithms for logistics and SCM network design. *Computers and Industrial Engineering*, 125(September), 394–412. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.08.025>
- Ghaderi, H., Pishvae, M. S., & Moini, A. (2016). Biomass supply chain network design: An optimization-oriented review and analysis. *Industrial Crops and Products*, 94, 972–1000. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.027>
- Goodarzi, F., Hosseini-Nasab, H., Muñuzuri, J., & Fakhrzad, M. B. (2020). A multi-objective pharmaceutical supply chain network based on a robust fuzzy model: A comparison of meta-heuristics. *Applied Soft Computing Journal*, 92, 106331. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106331>
- Govindan, K., Jafarian, A., Khodaverdi, R., & Devika, K. (2014). Two-echelon multiple-vehicle location-routing problem with time windows for optimization of sustainable supply chain network of perishable food. *International Journal of Production Economics*, 152, 9–28. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.12.028>
- Govindan, K., Kannan, J., Jafarian, A., & Nourbakhsh, V. (2015). Bi-objective integrating sustainable order allocation and sustainable supply chain network strategic design with stochastic demand using a novel robust hybrid multi-objective metaheuristic. *Computers and Operations Research*, 62, 112–130. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2014.12.014>
- Guillén, G., Mele, F. D., Bagajewicz, M. J., Espuña, A., & Puigjaner, L. (2005). Multiobjective supply chain design under uncertainty. *Chemical Engineering Science*, 60(6), 1535–1553. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2004.10.023>
- Hansen, K. R. N., & Grunow, M. (2015). Planning operations before market launch for balancing time-to-market and risks in pharmaceutical supply chains. *International Journal of Production Economics*, 161, 129–139. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.10.010>
- Hinojosa, Y., Kalcsics, J., Nickel, S., Puerto, J., & Velten, S. (2008). Dynamic supply chain design with inventory. *Computers and Operations Research*, 35(2), 373–391. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2006.03.017>
- Hugo, A., & Pistikopoulos, E. N. (2005). Environmentally conscious long-range planning and design of supply chain networks. *Journal of Cleaner Production*, 13(15), 1428–1448. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.04.011>
- INVIMA (Instituto de Vigilancia de Medicamentos y alimentos). (2018). *Informe de gestión del desabastecimiento de medicamentos en Colombia 2013-2018*. 1–4. <https://www.invima.gov.co/desabastecimiento->
- Jang, Y. J., Jang, S. Y., Chang, B. M., & Park, J. (2002). A combined model of network design and production/distribution planning for a supply network. *Computers & Industrial Engineering*, 43, 263–281. [https://doi.org/10.1016/S0360-8352\(02\)00074-8](https://doi.org/10.1016/S0360-8352(02)00074-8)
- Jouzani, J., & Govindan, K. (2020). On the sustainable perishable food supply chain network design: A dairy products case to achieve sustainable development goals. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123060. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123060>

- Kelle, P., Woosley, J., & Schneider, H. (2012). Pharmaceutical supply chain specifics and inventory solutions for a hospital case. *Operations Research for Health Care*, 1(2–3), 54–63. <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2012.07.001>
- Klibi, W., & Martel, A. (2012). Scenario-based Supply Chain Network risk modeling. *European Journal of Operational Research*, 223(3), 644–658. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.06.027>
- Lemmens, S., Decouttere, C., Vandaele, N., & Bernuzzi, M. (2016). A review of integrated supply chain network design models: Key issues for vaccine supply chains. *Chemical Engineering Research and Design*, 109, 366–384. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2016.02.015>
- Lieckens, K., & Vandaele, N. (2007). Reverse logistics network design with stochastic lead times. *Computers and Operations Research*, 34(2), 395–416. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2005.03.006>
- Lowe, T. J., Wendell, R. E., & Hu, G. (2002). Screening location strategies to reduce exchange rate risk. *European Journal of Operational Research*, 136(3), 573–590. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00065-0](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00065-0)
- Luo, H., Yang, X., & Wang, K. (2019). Synchronized scheduling of make to order plant and cross-docking warehouse. *Computers and Industrial Engineering*, 138(October), 106108. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106108>
- Martins, S., Amorim, P., Figueira, G., & Almada-Lobo, B. (2017). An optimization-simulation approach to the network redesign problem of pharmaceutical wholesalers. *Computers and Industrial Engineering*, 106, 315–328. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.01.026>
- Masoumi, A. H., Yu, M., & Nagurney, A. (2012). A supply chain generalized network oligopoly model for pharmaceuticals under brand differentiation and perishability. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(4), 762–780. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2012.01.001>
- Meixell, M. J., & Gargeya, V. B. (2005). Global supply chain design: A literature review and critique. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 41(6 SPEC. ISS.), 531–550. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2005.06.003>
- Melo, M. T., Nickel, S., & Saldanha-da-Gama, F. (2009). Facility location and supply chain management - A review. *European Journal of Operational Research*, 196(2), 401–412. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.05.007>
- Melo, M. T., Nickel, S., & Saldanha Da Gama, F. S. (2006). Dynamic multi-commodity capacitated facility location: A mathematical modeling framework for strategic supply chain planning. *Computers and Operations Research*, 33(1), 181–208. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2004.07.005>
- METRO CUADRADO. (2020). <https://www.metrocuadrado.com/>
- MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. (2013). RESOLUCIÓN 1604 DE 2013. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Ministerio de Transporte. (2020). *SICE-TAC*.

<https://plc.mintransporte.gov.co/Runtime/empresa/ctl/SiceTAC/mid/417>

- Mousazadeh, M., Torabi, S. A., & Zahiri, B. (2015). A robust possibilistic programming approach for pharmaceutical supply chain network design. *Computers and Chemical Engineering*, *82*, 115–128. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2015.06.008>
- Rezapour, S., Farahani, R. Z., Dullaert, W., & De Borger, B. (2014). Designing a new supply chain for competition against an existing supply chain. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *67*, 124–140. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2014.04.005>
- Ross, A., & Jayaraman, V. (2008). An evaluation of new heuristics for the location of cross-docks distribution centers in supply chain network design. *Computers and Industrial Engineering*, *55*(1), 64–79. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2007.12.001>
- Sadeghi, A., Sinaki, R. Y., Suer, G., & Çelikbilek, C. (2019). Fuzzy bi-objective model for a supply chain network design problem considering stochastic transportation leadtime. *Procedia Manufacturing*, *39*(2019), 1517–1524. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.296>
- Salehi Sadghiani, N., Torabi, S. A., & Sahebjamnia, N. (2015). Retail supply chain network design under operational and disruption risks. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *75*, 95–114. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2014.12.015>
- Shah, N. (2004). Pharmaceutical supply chains: Key issues and strategies for optimisation. *Computers and Chemical Engineering*, *28*(6–7), 929–941. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2003.09.022>
- Shamsuzzoha, A., Ndzibah, E., & Kettunen, K. (2020). Data-driven sustainable supply chain through centralized logistics network: Case study in a Finnish pharmaceutical distributor company. *Current Research in Environmental Sustainability*, *2*, 100013. <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2020.100013>
- Shoja, A., Molla-Alizadeh-Zavardehi, S., & Niroomand, S. (2020). Hybrid adaptive simplified human learning optimization algorithms for supply chain network design problem with possibility of direct shipment. *Applied Soft Computing Journal*, *96*, 106594. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106594>
- Singh, R. K., Chaudhary, N., & Saxena, N. (2018). Selection of warehouse location for a global supply chain: A case study. *IIMB Management Review*, *30*(4), 343–356. <https://doi.org/10.1016/j.iimb.2018.08.009>
- Singh, R. K., Kumar, R., & Kumar, P. (2016). Strategic issues in pharmaceutical supply chains: a review. *International Journal of Pharmaceutical and Healthcare Marketing*, *10*(3), 234–257. <https://doi.org/10.1108/IJPHM-10-2015-0050>
- Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., & Van Der Vorst, J. G. A. J. (2014). Modelling food logistics networks with emission considerations: The case of an international beef supply chain. *International Journal of Production Economics*, *152*, 57–70. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.12.012>
- Susarla, N., & Karimi, I. A. (2012). Integrated supply chain planning for multinational pharmaceutical enterprises. *Computers and Chemical Engineering*, *42*, 168–177. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2012.03.002>

- Tirkolaee, E. B., Mardani, A., Dashtian, Z., Soltani, M., & Weber, G. W. (2020). A novel hybrid method using fuzzy decision making and multi-objective programming for sustainable-reliable supplier selection in two-echelon supply chain design. *Journal of Cleaner Production*, 250, 119517. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119517>
- Vásquez, J., Gómez, K., & Rodríguez, S. (2010). *Regulación en el mercado farmacéutico colombiano*.
- Vila, D., Martel, A., & Beauregard, R. (2006). Designing logistics networks in divergent process industries: A methodology and its application to the lumber industry. *International Journal of Production Economics*, 102(2), 358–378. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2005.03.011>
- Wilhelm, W., Liang, D., Rao, B., Warriier, D., Zhu, X., & Bulusu, S. (2005). Design of international assembly systems and their supply chains under NAFTA. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 41(6 SPEC. ISS.), 467–493. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2005.06.002>
- Yang, G., & Liu, Y. (2017). Optimizing an equilibrium supply chain network design problem by an improved hybrid biogeography based optimization algorithm. *Applied Soft Computing Journal*, 58, 657–668. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2017.05.023>
- Yang, G. Q., Liu, Y. K., & Yang, K. (2015). Multi-objective biogeography-based optimization for supply chain network design under uncertainty. *Computers and Industrial Engineering*, 85, 145–156. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.03.008>
- Yang, L., Ji, X., Gao, Z., & Li, K. (2007). Logistics distribution centers location problem and algorithm under fuzzy environment. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 208(2), 303–315. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2006.09.015>
- Yu, H., & Solvang, W. D. (2020). A fuzzy-stochastic multi-objective model for sustainable planning of a closed-loop supply chain considering mixed uncertainty and network flexibility. *Journal of Cleaner Production*, 266, 121702. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121702>
- Zahiri, B., Jula, P., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2018a). Design of a pharmaceutical supply chain network under uncertainty considering perishability and substitutability of products. *Information Sciences*, 423, 257–283. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2017.09.046>
- Zahiri, B., Jula, P., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2018b). Design of a pharmaceutical supply chain network under uncertainty considering perishability and substitutability of products. *Information Sciences*, 423, 257–283. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2017.09.046>
- Zheng, X., Yin, M., & Zhang, Y. (2019). Integrated optimization of location, inventory and routing in supply chain network design. *Transportation Research Part B: Methodological*, 121, 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2019.01.003>

ANEXO A: Metodología para el diseño de plataformas de Abastecimiento y distribución.

La planeación para el diseño de la instalación se refiere a la toma de decisión a largo plazo necesaria para establecer la instalación para almacenamiento temporal de producto y para flujo de productos a través de instalaciones eficientes. Tales decisiones con frecuencia requieren una inversión sustancial de capital que comprometen a la compañía con un diseño para muchos años. Sin embargo una cuidadosa planeación de diseño puede significar años de operación eficiente de almacenamiento.(BALLOU, 2004)

Teniendo presente la importancia que tiene el diseño de una instalación al representar inversiones con retornos a largo plazo y que al final entrará dentro de los factores de diseño de una red de abastecimiento eficiente, se propone la siguiente metodología para el diseño de las instalaciones, donde se busca incluir todas las variables que al final se traducen en costos de la red. Se definen 7 criterios de diseño, llegando hasta 2 niveles de desagregación o detalle; esto con el fin de estimar los costos de la red con un alto grado de asertividad.

CRITERIO DE DISEÑO	NIVEL 1	NIVEL 2
1. Capacidad Estimada	<ul style="list-style-type: none"> Determinar la demanda máxima a atender 	
2. Posiciones de almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> Medicamentos Regulares 	
	<ul style="list-style-type: none"> Medicamentos Alto Costo 	
	<ul style="list-style-type: none"> Medicamentos Refrigerados 	
3. Metros Cuadrados	<ul style="list-style-type: none"> Metros Cuadrados de Almacenamiento 	Med. Regulares Med. Alto Costo Med. Refrigerados
	<ul style="list-style-type: none"> Metros Cuadrados Recepción de Mercancías 	Muelles de Recibo Aduana de Recibo
	<ul style="list-style-type: none"> Metros Cuadrados Salida de mercancías 	Muelles de Despachos Aduana de Despachos
	<ul style="list-style-type: none"> Metros Cuadrados Otros Procesos 	Logística Inversa
		Zona Administrativa
		Otros
4. Estructura de Personal	<ul style="list-style-type: none"> Coordinador de Operaciones 	

	• Director Técnico	
	• Supervisor de Operaciones	
	• Auxiliar de Información	
	• Montacarguista	
	• Auxiliar de Operaciones	Recibo
		Almacenamiento
		Alistamiento
Certificación		
Aduana		
	Devoluciones	
	Inventarios	
5. Dotaciones	• Embalaje para Packing	Contenedores Plásticos
		Neveras de Icopor
	• Estibas Plásticas	Almacenamiento
		Muelles de Recibo
		Muelles de Despachos
		Aduana de Recibos
		Aduana de Despachos
		Estibas Backup
	• Terminales de Radiofrecuencia	Recibo
		Almacenamiento
		Alistamiento
	• Carros de Picking	
	• Equipos de Computo	Coordinador Operaciones
		Director Técnico
		Auxiliar Operaciones
		Auxiliar Información
		Supervisor Operaciones
6. Adecuaciones Civiles	• Eléctrico - Voz y Datos	
	• Obra Civil	
	• Red Contra Incendios	
	• Cuarto Frío	
	• Suplencia Eléctrica	
7. Otros Conceptos	• Servicios de Aseo	
	• Vigilancia	Recibo
		Despachos
		Entrada

		CCTV
	• Servicios Públicos	
	• Pólizas y Seguros	
	• Arrendamiento Maquinaria y Equipo	Montacarga Eléctrica Estibador Hidráulico

Tabla 47: Metodología de diseño plataformas de abastecimiento (Elaboración Propia)

Para entender la formulación desarrollada en este capítulo, a continuación se describen los índices y variables a manejar:

Índice / Variable	DESCRIPCIÓN
Capacidad_i	Capacidad máxima de cada Centro de Abastecimiento i
V_{ij}	Viabilidad de asignar un grupo de puntos j al Centro de Abastecimiento i $V_{ij} \in \{1,0\}$
D_{jk}	Demanda del grupo de puntos j del producto k
CM	Consumo volumétrico
D_{pj}	Demanda mensual estimada del producto p en la plataforma i
V_p	Volumen del producto p
P_{inv}_i	Política de días de inventarios en la plataforma i $P_{inv_i} \begin{cases} 1 \text{ para los Centros de Abastecimiento y distribución (30 días de inventario)} \\ 0.5 \text{ para los Nodos de Abastecimiento y distribución (15 días de inventario)} \end{cases}$
U_{ei}	Total de ubicaciones del tipo de estantería e en la plataforma i
x_{pie}	Asignación de ubicaciones realizada al producto p en la plataforma i del tipo e
U_l_{ei}	Total de ubicaciones en función de lote del tipo de estantería e en la plataforma i
α	Número de lotes por producto $\alpha \geq 1$
TM_{ei}	Cantidad total de muebles requeridos por tipo de ubicación e en la plataforma i
Tu_e	Total ubicación por tipo de estantería e
Ma_{ej}	Metros cuadrados de almacenamiento para la estantería e en la plataforma j
l_e	Largo del tipo de mueble e

a_e	Ancho del tipo de mueble e
p_e	Ancho de pasillo para el tipo de mueble e
Maf_{ei}	m^2 de almacenamiento CADENA FRIO para la estanteria e en la plataforma i
TM_{eik}	Muebles requeridos por tipo de ubicación e en la plataforma i para el producto k
γ	Factor de correlación entre la necesidad de almacenamiento y el espacio adicional
Mac_{ei}	m^2 de almacenamiento ALTO COSTO para la estanteria e en la plataforma i
Am_i	Area de muelle de recibos para la plataforma i
Vr	Volumen mensual de recibo en cm^3 que equivale a $D_{pj} * V_p$
Di	Días hábiles en el mes para recibir
Ve	Volumen de conformacion de la estiba de recibo en cm^3
H	Horas diarias disponibles para el recibo
Ae	Area ocupada por una estiba en m^2 (3,12 m^2)
Ar_i	Area destinada para la aduana de recibo en la plataforma i
St	Porcentaje de almacenamiento temporal con respecto al volumen diario recibo
Ef_{jk}	Numero total de contenedores por frecuencia de la drogueria j para el tipo de producto k { $Ef_{jk} \in \mathbf{Z}$ } El número de contenedores es un valor entero
D_{pk}	Demanda del producto p que pertenece a un tipo de producto k
f_j	Total frecuencias de abastecimiento mes asignadas al punto j
Vc_k	Volumen del contenedor asignado al tipo de producto k
Te_{jk}	Total contenedores mes de la drogueria j para el tipo de producto k
Tg_{gk}	Total contenedores mes del grupo de droguerias g provenientes de la drogueria j del tipo k
P_{ik}	Total piezas por dia del tipo del producto k en la Centro de abastecimiento i
V_{ij}	Viabilidad de asignar un grupo de puntos j al Centro de Abastecimiento i ($j \in J$) = Todos los grupos de droguerias
dh	Días hábiles para operar
Vt_i	Volumen total ocupado por los contenedores en el centro de abastecimiento i
Ea_i	Numero total de posiciones de estiba a piso requeridas en el Centro de abastecimiento i
Vea	Volumen de conformacion de la estiba de alistamiento en cm^3
Aad_i	Area destinada para la aduana de despachos en la plataforma i
Amd_i	Area destinada para los muelles de despachos en la plataforma i

β	<i>Numero total de momentos de cargue u olas de trabajo</i>
Dev_i	<i>Metros cuadrados destinados para el proceso de devoluciones en la plataforma i.</i>
θ	<i>Factor de correlacion entre el area de almacenamiento y el area de devoluciones</i>
Adm_i	<i>Area destinada para la zona adminsitrativa en la paltaforma i</i>
ρ	<i>actor de correlacion establecido entre las areas de operación y la zona administrativa</i>
Ot_j	<i>Espacio destinado para otras necesidad de la plataforma i</i>
ϑ	<i>Factor de correlacion establecido entre las areas de operación y las otras zonas</i>
Tm_i	<i>Total m² requeridos para la plataforma i</i>
AOR_i	<i>Cantidad total de Auxiliares Operativos de recibo en la plataforma i.</i>
SKU_i	<i>Cantidad total de referencias a manejar en la plataforma i.</i>
Pr	<i>Productividad de recibo en funcion a SKU por día estandar (8 horas).</i>
AOA_i	<i>Cantidad total de Auxiliares Operativos de almacenamiento en la plataforma i.</i>
Pa	<i>Productividad de almacenamiento en funcion a SKU por día estandar (8 horas).</i>
$AOAl_i$	<i>Cantidad total de Auxiliares Operativos de alistamiento en la plataforma i.</i>
D_i	<i>Demanda total en unidades en la plataforma i.</i>
dhm	<i>Días hábiles para operar en un mes.</i>
Pal	<i>Productividad de alistamiento en funcion de unidades por día estandar (8 horas).</i>
AOC_i	<i>Cantidad total de Auxiliares Operativos de certificación en la plataforma i.</i>
Pc	<i>Productividad de certificación en funcion de unidades por día estandar (8 horas).</i>
CO_i	<i>Cantidad de Coordinador de Operaciones para la plataforma i</i>
DT_i	<i>Cantidad de Director Técnico para la plataforma i</i>
AOC_i	<i>Cantidad total de Auxiliares Operativos de aduana en la plataforma i.</i>
PZ_i	<i>Cantidad total de piezas en la plataforma i.</i>
Pad	<i>Productividad de aduana en función del numero de piezas por día estandar.</i>
AOD_i	<i>Cantidad total de Auxiliares Operativos de devoluciones en la plataforma i.</i>
DEV_i	<i>Demanda de lineas (producto – punto) para la plataforma i.</i>
$Pdev$	<i>Productividad de devoluciones en funcion del numero de lineas a recibir.</i>
AOI_i	<i>Cantidad total de Auxiliares Operativos de inventarios en la plataforma i.</i>
Pi	<i>Productividad de inventarios en función al total de productos a manejar.</i>
MO_i	<i>Cantidad total de montacarguistas en la plataforma i.</i>

τ	<i>Correlacion entre montacarguistas y auxiliares de almacenamiento.</i>
$AINF_i$	<i>Cantidad total de Auxiliares de información en la plataforma i.</i>
γ	<i>Factor de correlación entre la plata operaciones y los auxiliares de información</i>
SO_i	<i>Cantidad total de Supervisores de operaciones en la plataforma i.</i>
CS	<i>Capacidad o tamaño máximo de supervisión.</i>
PT_i	<i>Planta total asignada a la plataforma i</i>
Pc_{ik}	<i>Total piezas a adquirir del tipo del producto k en la Centro de abastecimiento i</i>
Ea_i	<i>Total estibas destinadas al almacenamiento en estanteria</i>
Er_i	<i>Total estibas destinadas a los muelles de recibo.</i>
Ed_i	<i>Total estibas destinadas a los muelles de despacho.</i>
Ear_i	<i>Total estibas destinadas a la aduana de recibo.</i>
Ead_i	<i>Total estibas destinadas a la aduana de despachos.</i>
Eb_i	<i>Total estibas de reserva o Backup.</i>
B	<i>Tasa porcentual destinado para la reserva de estibas en funcion a la necesidad operacional</i>
ET_i	<i>Total estibas requeridas para la plataforma i.</i>
AS_i	<i>Total personas asignadas al proceso de aseo para la plataforma i</i>
s	<i>Factor de correlacion entre la platan total y los recursos de aseo</i>
SSr_i	<i>Servicio de seguridad asignado al recibo de mercancías</i>
SSd_i	<i>Servicio de serguridad asignado al despacho de mercancías</i>
$SSdev_i$	<i>Servicio de serguridad asignado al proceso de devoluciones</i>
SSI_i	<i>Servicio de seguridad para el ingreso de personal en la paltaforma i</i>
$Capi$	<i>Capacidad maxima de personal por turno de trabajo</i>
$SStv_i$	<i>Servicio de seguridad para el monitoreo del circuito cerrado de TV.</i>
SST_i	<i>Total recursos de seguridad para la plataforma i.</i>
TMO_i	<i>Total montacargas para la plataforma i</i>
TE_i	<i>Total estibadores para la plataforma i</i>
TR_i	<i>Total Terminales de Radiofrecuencia para la plataforma i</i>
EQ_i	<i>Total Equipos de Computo para la plataforma i</i>

Tabla 48: Índices y Variables - Diseño plataformas de abastecimiento.

1. Capacidad estimada para cada plataforma de abastecimiento.

Con el fin de determinar la capacidad instalada de cada centro de abastecimiento se determinaron teniendo presente las posibles ciudades y municipios a atender, de acuerdo con su localización, cercanía a otras ciudades o municipios, como se puede observar en el **Anexo_DiseñoPlataformas.xlsx**.

Para determinar la capacidad máxima estimada de cada Centro de abastecimiento utilizamos la siguiente ecuación:

$$Capacidad_i = V_{ij} D_{jk}$$

En la siguiente tabla, relacionamos la demanda máxima a atender por cada plataforma de abastecimiento.

CENTRO	NOMBRE PLATAFORMA	UNIDADES	LINEAS	VOLUMEN ALMACENAR (cm ³)
CD-001	CEDIS FUNZA	2.606.635	606.456	1.622.467.507
CD-002	CEDIS COPACABANA	2.467.521	244.635	1.237.385.203
CD-003	CEDIS BOG - NORTE	760.276	211.734	419.614.006
CD-004	CEDIS BOG - SUR	697.044	128.703	473.907.910
CD-005	CEDIS BOG - ORIENTE	123.440	37.606	53.467.819
CD-006	CEDIS BOG - OCCIDENTE	692.719	178.575	398.582.096
CD-007	CEDIS CALI	406.655	57.154	387.837.867
CD-008	CEDIS TUNJA	292.472	73.647	203.869.355
CD-009	CEDIS IBAGUE	448.396	63.360	425.879.923
CD-010	CEDIS CARTAGENA	104.737	26.470	47.280.746
CD-011	CEDIS BUCARAMANGA	152.229	37.581	75.324.505
CD-012	CEDIS VILLAVICENCIO	94.911	23.456	61.011.081
CD-013	CEDIS ARMENIA	363.902	47.901	362.187.361
CD-014	CEDIS BARRANQUILLA	104.737	26.470	47.280.746
CD-015	CEDIS SANTA MARTA	104.737	26.470	47.280.746
CD-016	CEDIS PEREIRA	363.902	47.901	362.187.361
ND-001	NODO BOG - NORTE	760.276	211.734	209.807.003
ND-002	NODO BOG - SUR	697.044	128.703	236.953.955
ND-003	NODO BOG - ORIENTE	123.440	37.606	26.733.910
ND-004	NODO BOG - OCCIDENTE	692.719	178.575	199.291.048
ND-005	NODO CALI	406.655	57.154	193.918.933
ND-006	NODO TUNJA	292.472	73.647	101.934.677
ND-007	NODO IBAGUE	448.396	63.360	212.939.962
ND-008	NODO CARTAGENA	104.737	26.470	23.640.373
ND-009	NODO BUCARAMANGA	152.229	37.581	37.662.253
ND-010	NODO VILLAVICENCIO	94.911	23.456	30.505.540
ND-011	NODO ARMENIA	363.902	47.901	181.093.681
ND-012	NODO BARRANQUILLA	104.737	26.470	23.640.373
ND-013	NODO SANTA MARTA	104.737	26.470	23.640.373
ND-014	NODO PEREIRA	363.902	47.901	181.093.681

Tabla 49: Demanda estimada a atender desde cada Plataforma de Abastecimiento con política de inventario

2. Posiciones de Almacenamiento requeridas.

Para determinar las posiciones de almacenamiento requeridas por cada plataforma, primero se seleccionaron 8 tipos de estantería como referencia, con capacidades de almacenamiento diferente de acuerdo con el requerimiento por cada producto en cada plataforma de almacenamiento.

Tipo	Descripción	Largo	Ancho	Alto	Capacidad de Almacenamiento (cm^3)	Imagen de Referencia
Estantería Liviana	MP-06	24	15	12,4	4.464	 <p>MP-06 Largo: 24cm Ancho: 15cm Alto: 12,4cm</p>
Estantería Liviana	MP-07	35	20	15	10.500	 <p>MP-07 Largo: 35cm Ancho: 20cm Alto: 15cm</p>
Estantería Liviana	MP-08	45	30	18	24.300	 <p>MP-08 Largo: 45cm Ancho: 30cm Alto: 18cm</p>
Estantería Liviana	MP-10	60	40	30	72.000	 <p>MP-10 Largo: 60cm Ancho: 40cm Alto: 30cm</p>

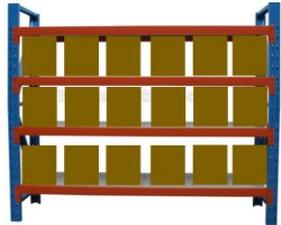
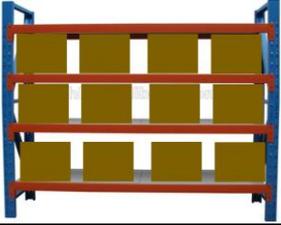
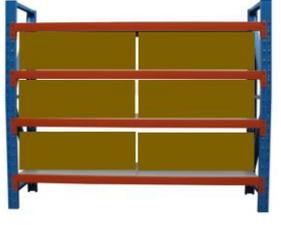
Estantería Pesada	Rack Selectivo 1/6 Palet	100	30	50	150.000	
Estantería Pesada	Rack Selectivo 1/4 Palet	100	50	50	250.000	
Estantería Pesada	Rack Selectivo 1/2 Palet	100	120	50	600.000	
Estantería Pesada	Rack Selectivo 1 Palet	100	120	120	1.440.000	

Tabla 50: Tipo de estantería y capacidades de almacenamiento.

Por cada producto que se tiene estimado que va a ser almacenado en una plataforma de abastecimiento se debe determinar el tipo de posición de almacenamiento adecuada para este material en función a consumo volumétrico de esta.

$$CM = D_{pi} V_p P_{inv_i}$$

Una vez determinado el consumo volumétrico de cada producto, se proceder a realizar la siguiente toma de decisión en función a la capacidad de almacenamiento de cada tipo de estantería.

$$\text{CM} \left\{ \begin{array}{l}
 x \leq 4.446 \text{ cm}^3 \text{ Estanteria Liviana MP} - 06 \\
 4.446 \text{ cm}^3 < x \leq 10.500 \text{ cm}^3 \text{ Estanteria Liviana MP} - 07 \\
 10.500 \text{ cm}^3 < x \leq 24.300 \text{ cm}^3 \text{ Estanteria Liviana MP} - 08 \\
 24.300 \text{ cm}^3 < x \leq 72.000 \text{ cm}^3 \text{ Estanteria Liviana MP} - 10 \\
 72.000 \text{ cm}^3 < x \leq 150.000 \text{ cm}^3 \text{ Estanteria Pesada Rack Selectivo } \frac{1}{6} \text{ Palet} \\
 150.000 \text{ cm}^3 < x \leq 250.000 \text{ cm}^3 \text{ Estanteria Pesada Rack Selectivo } \frac{1}{4} \text{ Palet} \\
 250.000 \text{ cm}^3 < x \leq 600.000 \text{ cm}^3 \text{ Estanteria Pesada Rack Selectivo } \frac{1}{2} \text{ Palet} \\
 x > 600.000 \text{ cm}^3 \text{ Estanteria Pesada Rack Selectivo } 1 \text{ Palet}
 \end{array} \right.$$

Por lo tanto, el número total de ubicaciones se expresa de la siguiente manera:

$$U_{ei} = \sum_{(p \in P)} x_{pie}$$

Teniendo presente que estas plataformas están diseñadas para almacenamiento de medicamento, se debe garantizar la trazabilidad de lotes lo que implica tener separación física por cada combinación de producto – lote, por consiguiente, el total de ubicaciones requeridas de se expresa de la siguiente manera

$$Ul_{ei} = U_{ei} \alpha$$

Ul_{ei} = Total de ubicaciones en función de lote del tipo de estanteria e en la plataforma i

α = Número de lotes por producto, $\alpha \geq 1$

De acuerdo con el caso base se estableció un α de 1.5, lo que significa que por cada material se tienen 1.5 lotes aproximadamente.

La cantidad de posiciones de almacenamiento por tipo y por plataforma de abastecimiento se detallan en el **Anexo_DiseñoPlataformas.xlsx**

3. Metros cuadrados requeridos

3.1. Metros cuadrados de almacenamiento requeridos.

Con el objetivo de determinar los metros cuadrados de almacenamiento requeridos por la necesidad de posiciones de almacenamiento, se deben realizar configuraciones uniformes en el armado de la estantería con el fin de determinar los espacios requeridos.

Para la estantería liviana se toma como medida estándar las dimensiones de un rack selectivo con las siguientes dimensiones:

Largo: 240 cm

Ancho: 105 cm

Tipo	Descripción	UBICACIONES A LO LARGO	UBICACIONES A LO ALTO	TOTAL CARAS	TOTAL UBICACIONES
Estantería Liviana	MP-06	16	11	2	352
Estantería Liviana	MP-07	12	8	2	192
Estantería Liviana	MP-08	8	8	2	128
Estantería Liviana	MP-10	6	6	2	72

Tabla 51: Configuración estantería Liviana

Para la estantería pesada se establece como medida estándar las dimensiones de un rack selectivo con las siguientes dimensiones:

Largo: 240 cm

Ancho: 105 cm

Alto: 700 cm

Niveles: 5

Donde los primeros 2 niveles son de alcance manual, del nivel 3 en adelante se requiere uso de montacargas por lo tanto la configuración para la estantería pesada queda de la siguiente manera:

Tipo	Descripción	TOTAL UBICACIONES BAJAS	TOTAL UBICACIONES ALTAS	TOTAL UBICACIONES
Estantería Pesada	1/6 Palet	24	0	24
Estantería Pesada	1/4 Palet	16	0	16
Estantería Pesada	1/2 Palet	8	0	8
Estantería Pesada	1 Palet	4	6	10

Tabla 52: Configuración estantería pesada

Con la configuración de estantería definida, se pasan las posiciones requeridas a muebles completos de acuerdo con el estándar definido (Rack Selectivo de 240 cm x 105 cm)

Adicionalmente a los metros cuadrados que ocupa la estantería, se deben tener presente los metros requeridos para circulación, también conocido como ancho de pasillo; para zonas de estantería liviana se estima un ancho de pasillo inferior o menor al ancho de pasillo de una zona de estantería pesada con altura donde se debe garantizar la circulación de un montacargas, para la configuración que se están planteando se requiere una montacarga que llegue a una altura de mínimo 7 metros, por tanto de acuerdo a la **Figura 17** se requiere un pasillo de mínimo 2819 *cm* (*parámetro Ast*).

Dimensiones	4.1	Inclinación del mástil o del carro portahorquillas, adelante / atrás		grados		1 / 3 ²⁾	
	4.2	Altura de mástil descendido	h_1	pulg	mm	103	2,600
	4.3	Elevación libre	h_2	pulg	mm	61 ⁷⁾	1,956
	4.4	Altura máxima de la horquilla (MFH)	h_3	pulg	mm	244	6,200
	4.5	Altura total extendida (OAE)	h_4	pulg	mm	309	6,844
	4.7	Altura de la guarda de carga encima de la cabeza (cabina)	h_6	pulg	mm	86.3	2,190
	4.8	Altura de asiento / altura de pie	h_7	pulg	mm	37.8	960
	4.10	Altura de brazos de rueda	h_8	pulg	mm	12.5	315
	4.19	Longitud total	l_1	pulg	mm	95.2 ¹⁾	2,418 ¹⁾
	4.20	Longitud a la cara de la horquilla, longitud principal	l_2	pulg	mm	50.0 ¹⁾	1,268 ¹⁾
	4.21	Ancho total	b_1/b_2	pulg	mm	44.1 / 44.1	1,120 / 1,120
	4.22	Dimensiones de horquilla, espesor / ancho	s/e/l	pulg	mm	1.6 / 4.7 / 45.3	40 / 120 / 1,150
	4.23	Carro portahorquillas, clase ISO / tipo A, B					2 / B
	4.24	Ancho de carro porta-horquilla	b_3	pulg	mm	32.7	830
	4.25	Ancho total de horquilla	b_5	pulg	mm	13.2 / 22.1	335 / 560
	4.26	Distancia entre brazos de rueda / superficies de carga	b_4	pulg	mm	30.7	782
	4.32	Espacio al piso, centro de distancia entre ejes	m_2	pulg	mm	3.14	80
4.33	Ancho de pasillo (para tarimas de 48 x 40)	Ast	pulg	mm	111 ³⁾	2,819 ³⁾	
4.37	Longitud hasta la punta del estabilizador	l_7	pulg	mm	70.6	1,792	

Figura 27: Dimensiones montacarga eléctrica Jungheinrich ETM 214.

Teniendo presente los espacios mínimos requeridos de circulación, se establecen las siguientes dimensiones para cada tipo de configuración de estantería, como se aprecia en la tabla 26.

Tipo	LARGO (m)	ANCHO (m)	PASILLO (m)	TOTAL REQUERIDO (m ²)
Estantería Pesada	2,4	1,05	3	9,72
Estantería Liviana	2,4	1,05	2	7,32

Tabla 53: Espacio requerido por tipo de configuración de estantería.

Está misma metodología se utiliza para determinar las posiciones requeridas para los medicamentos con condiciones especiales de almacenamiento como lo son los medicamentos del tipo MED005 CADENA DE FRIO, pero con la necesidad adicional que se debe contemplar un espacio adicional para realizar los procesos de certificación o auditoria del pedido, Packing, teniendo presente que se debe garantizar la estabilidad del medicamento dentro del rango de temperatura requerido.

Por lo tanto la necesidad de metros cuadrados de almacenamiento matemáticamente se formula de la siguiente manera:

CONCEPTO	FORMULACIÓN
Cantidad de Muebles de Almacenamiento	$TM_{ei} = \frac{Ul_{ei}}{Tu_e}$
Metros cuadrados Almacenamiento	$Ma_{ej} = TM_{ej}(l_e * (a_e + p_e))$
Metros cuadrados Almacenamiento Cadena Frio	$Maf_{ei} = (TM_{eik}(l_e * (a_e + p_e))) * (1 + \gamma)$
Metros cuadrados Almacenamiento Alto Costo	$Mac_{ei} = TM_{eik}(l_e * (a_e + p_e))$ donde k es igual a MED006

Tabla 54: Formulación matemática - Cálculo metros cuadrados de almacenamiento.

La descripción de los índices y variables se puede identificar en la **Tabla 48**.

3.2. Metros cuadrados requeridos proceso de Recepción de Mercancías.

El proceso de recepción de mercancía requiere 2 espacios claramente identificados los cuales son los muelles de recibo y las aduanas de recibo los cuales cumplen las siguientes características:

- **Muelle de recibos:** Es una zona dentro de los Centros de abastecimiento donde se realiza el descargue de los productos proveniente de los proveedores o los Centros de Suministro, en estos espacios se realizan las siguientes actividades.
 - Descargue de vehículo.
 - Destelle de mercancía por producto y lote.
 - Validación de las condiciones físicas de los embalajes y productos.
 - Recepción técnica (Validación de Lote, Fecha de vencimiento, cantidades).
 - Etiquetaje de producto: Este proceso se realiza para definir la zona de almacenamiento donde debe ir el producto.
- **Aduana de Recibos:** Es un espacio destinado para el almacenamiento transitorio o temporal del producto recibido antes de pasar a las posiciones de almacenamiento.

Para calcular el espacio requerido en el proceso de recibo se tienen presente las siguientes consideraciones:

- El volumen de recibo es equivalente al volumen de salida
- El volumen mensual de recibo se realizará durante 3 semanas (Semana 2, 3 y 4), de lunes a viernes.
- La mercancía recibida es colocada sobre estibas.
- En una estiba se puede tener múltiples referencias por tanto la conformación máxima equivale al 35% aproximadamente de la capacidad de una estiba estándar (120 cm x 110 cm x 110 cm)
- Las aduanas de recibo que son espacios transitorios tendrán capacidad para almacenar temporalmente el 35% del valor diario de recibo.
- Los procesos de recepción se realizarán en jornada am por tanto se debe tener capacidad en muelles de recibo para realizar la recepción total del día en un tiempo aproximado de 6 horas.

De acuerdo con estas consideraciones el cálculo del espacio requerido para muelles de recibo y aduana de recibo se define a continuación:

CONCEPTO	FORMULACIÓN
1. Metros cuadrados muelle de recibos	$Am_i = \frac{Vr_i}{Di} * \frac{1}{Ve} * \frac{1}{H} * Ae$
2. Metros cuadrados aduana de recibos	$Ar_i = \frac{Vr_i}{Di} * \frac{1}{Ve} * St * Ae$

Tabla 55: Formulación matemática - Cálculo metros cuadrados proceso de recepción de mercancías.

La descripción de los índices y variables se puede identificar en la **Tabla 48**.

Para efectos del desarrollo del caso base, $Di = 15$, $H = 6$, $Ve = 508.200 \text{ cm}^3$, $Ae = 3,12 \text{ m}^2$ y $St = 35\%$.

3.3. Metros cuadrados requeridos proceso de Salida de mercancías.

Para los procesos de salida de mercancías es necesario contar con dos espacios diferenciados para garantizar la correcta ejecución de este proceso, estos son las aduanas de despacho y los muelles de despacho.

- **Aduana de despachos:** Es la zona en la cual se realiza la consolidación y completitud de los pedidos realizados por las droguerías, en esta zona se unifican las piezas que son alistadas desde las diferentes zonas de alistamiento que tenga la plataforma logística (*cuarto frío, alto costo, zona de estantería pesada, zona de estantería liviana*), adicionalmente se unifican en función al ruteo con el fin de disminuir los tiempos de cargue de vehículos; esta zona se considera una zona de tipo transitoria pero que debe tener capacidad para contener mercancías por el equivalente al volumen diario alistado.
- **Muelle de despachos:** En este espacio se realizan los procesos de entrega de mercancía en función a las rutas consolidadas a los operadores logísticos de transporte que se tengan asignados, con el fin de que existas transparencia y se traslade la custodia del inventario al tercero. Adicionalmente se realiza el proceso físico de cargue de mercancía a los respectivos vehículos.

Con el fin de determinar los espacios requeridos es importante tener presente las siguientes premisas definidas:

- El volumen diario de salida es equivalente al volumen de la demanda mensual dividido en los días hábiles que se tienen para el proceso, en ese caso se manejara un modelo de lunes a viernes lo que equivale a tener 20 días hábiles de alistamiento.
- La mercancía es alistada dentro de contenedores plásticos uniformes.
- Los contenedores son colocados temporalmente en la zona de aduana de despachos sobre estibas con dimensiones de (120 cm x 110 cm).

Para poder estimar el espacio requerido para la salida de mercancías, se debe trabajar en función de la unidad logística de salida para este caso se definieron las siguientes unidades logísticas de despacho:

Tipo	Descripción	Largo	Ancho	Alto	Capacidad (cm^3)	Imagen de Referencia
------	-------------	-------	-------	------	-------------------------	----------------------

Contenedor Plástico Grande	CP-001	60	30	40	72.000	
Contenedor Plástico pequeño	CP-002	30	30	30	27.000	
Nevera Icopor 90 LT	NI-001	60	40	40	48.000	

Tabla 56: Contenedores de empaque y sus capacidades de almacenamiento.

Ahora para cada tipo de medicamento se usa un tipo de contenedor para su empaque el cual se define en la tabla 37.

TIPO MEDICAMENTO	DESC. TP MEDICAMENTO	TIPO DE CONTENEDOR	CAPACIDAD TIPO DE CONTENEDOR
MED001	MEDICAMENTOS (0 A 240 CM3)	CP-001	72.000
MED002	MEDICAMENTOS (241 A 480 CM3)	CP-001	72.000
MED003	MEDICAMENTOS (481 A 963 CM3)	CP-001	72.000
MED004	MEDICAMENTOS (X > 964 CM3)	CP-001	72.000
MED005	CADENA FRIO	NI-001	48.000
MED006	ALTO COSTO	CP-002	27.000

Tabla 57: Relación tipo de medicamento – embalaje

Con el fin de determinar el número de piezas mensuales que se movilizaran hacia cada droguería si debe tener presente la frecuencia de abastecimiento que tiene el establecimiento, por tanto, para el desarrollo del ejercicio se trabajó bajo un modelo de 2 frecuencias de abastecimiento semanal que es el modelo utilizado por lo general en el caso base.

Para determinar los metros cuadrados para los procesos de salida de mercancías, es necesario estimar el número de posiciones de estibas a piso que va a ocupar el proceso, para esto debemos determinar primero el número total de contenedores por frecuencias, luego determinamos el total

de contenedores por mes y por grupo de droguerías que van a pasar por la plataforma de abastecimiento; una vez se tiene el total de contenedores mensual, se estima la cantidad diaria de contenedores y al final se identifica el volumen ocupado por estos y así poder determinar las posiciones de estiba a piso requeridas, por tanto en la siguiente tabla describimos el proceso a seguir:

CONCEPTO	FORMULACIÓN
1. Número total de contenedores por frecuencia	$Ef_{jk} = \frac{\sum_{(p \in P)} V_p D_{pk}}{f_j} * \frac{1}{Vc_k}$ $\{Ef_{jk} \in \mathbf{Z}\}$
2. Número total de contenedores por mes	$Te_{jk} = Ef_{jk} * f_j$
3. Número total de contenedores por mes por grupo de droguerías	$Tg_{gk} = \sum_{j \in J} Te_{jkg}$
4. Total piezas por día por plataforma	$P_{ik} = \frac{\sum_{j \in J} Tg_{jk} V_{ij}}{dh}$ <p>$(j \in J) = \text{Todos los grupos de droguerías}$</p>
5. Volumen total ocupado por los contenedores	$Vt_i = P_{ik} Vc_k$
6. Número total de posiciones de estiba a piso	$Ea_i = \frac{Vt_i}{Vea}$

Tabla 58: Formulación matemática - Cálculo número total de posición de estiba a piso, proceso de salida de mercancías.

La descripción de los índices y variables se puede identificar en la **Tabla 48**.

Para el desarrollo del ejercicio la altura de conformación de la estiba de alistamiento es de 100 cm, por tanto, el valor de Vea este dado por $(120 \times 110 \times 100)$, ahora bien, el espacio requerido en aduana de despachos esta dado por el número de posiciones de estiba a piso más el espacio de circulación requerido por cada estiba el cual debe ser superior a la medida más grande de la estiba entre largo y ancho, con el fin de que se puedan dar movilidad con los estibadores hidráulicos. De acuerdo con esta definición y que para el ejercicio se está utilizando una estiba estándar de (120×110) el espacio mínimo para maniobrar se estima en 150 cm, esto quiere decir que el espacio ocupado por una estiba es de $(120 \times (110 + 150))$ lo que equivale a 31.200 cm^2 o $3,12 \text{ m}^2$.

Con respecto al área destinada para los muelles de despacho donde se realizará el cargue de mercancía este tiene una correlación con el área destinada para la aduana, la variación está en cuanto al momento se desea realizar el cargue total de la mercancía, si se desea realizar en 1 solo momento o en 1 sola ola de trabajo se requiere un espacio de la misma área que tiene la aduana, pero si se requiere hacer en 2 olas se requiere el 50% del área de aduana, a este factor lo vamos a denominar β

Con las anteriores definiciones los espacios requeridos para el proceso de salida de mercancías por plataforma de abastecimiento con los siguientes, con un $\beta = 2$ y un $Vea = 3.12$, por lo tanto para calcular los metros cuadrados para los procesos de salida de mercancías usamos las siguientes fórmulas:

CONCEPTO	FORMULACIÓN
Metros cuadrados muelle de despachos	$Amd_i = \frac{Aad_i}{\beta}$
Metros cuadrados aduana de despachos	$Aad_i = Ea_iAe$

Tabla 59: Formulación matemática - Cálculo metros cuadrados proceso de salida de mercancías.

La descripción de los índices y variables se puede identificar en la **Tabla 48**.

3.4. Metros cuadrados requeridos otros procesos.

- Logística de reversa.

Dentro del proceso de logística de reversa se identifican las devoluciones desde las droguerías por concepto de medicamentos próximos a vencer, dentro de las definiciones de los puntos de abastecimiento se definió que los únicos tipos de centro que van a contar con este proceso son los Centros de Abastecimiento y distribución por tener contacto directo con los laboratorios, con el fin de establecer los metros cuadrados requeridos para esa área se utilizó la siguiente fórmula:

Para el desarrollo de este ejercicio se estableció un $\theta = 0.1$.

- Zona administrativa.

Dentro de los centros de operaciones se requieren espacios de tipo administrativo como lo puede ser la zona de oficinas, salas de reuniones, cafetería, zona de lockers y vestidores, baños, entre otros, para estimar este espacio se estableció la siguiente fórmula:

Para el desarrollo se estableció un $\rho = 0.05$.

- Otras zonas.

Dentro de las plataformas de almacenamiento se establecen zonas destinadas para:

- Cuarto de cargue de baterías
- Zona de estacionamiento de estibadores
- Zona de estacionamiento de carros de picking
- Cuarto de reciclaje
- Cuarto de Insumos y suministros.
- Cuarto de aseo.
- Cuarto de Subestación eléctrica y planta de suplencia eléctrica.
- Cuarto de comunicaciones.

Las cuales se deben tener presente a la hora de diseñar una plataforma de abastecimiento.

Para el desarrollo se estableció un $\theta = 0.1$, $\rho = 0.05$ y $\vartheta = 0.1$; las áreas descritas anteriormente son calculadas de la siguiente manera:

CONCEPTO	FORMULACIÓN
Metros cuadrados Logística de reversa	$Dev_i = Ma_{ei} * \theta$
Metros cuadrados zona administrativa	$Adm_i = (Am_i + Ar_i + Aad_i + Amd_i + Ma_{ei} + Mac_{ei} + Maf_{ei} + Dev_j) * \rho$
Metros cuadrados otras zonas	$Ot_j = (Am_i + Ar_i + Aad_i + Amd_j + Ma_{ei} + Mac_{ei} + Maf_{ei} + Dev_i) * \vartheta$

Tabla 60: Formulación matemática - Cálculo metros cuadrados otros procesos.

La descripción de los índices y variables se puede identificar en la **Tabla 48**.

3.5. Metros cuadrados totales por plataforma.

De acuerdo con las definiciones previas de áreas establecidas para una plataforma de abastecimiento podemos determinar que el total de metros cuadrados requeridos se determinan de la siguiente manera:

$$Tm_i = (Am_i + Ar_i + Aad_i + Amd_i + Ma_{ei} + Mac_{ei} + Maf_{ei} + Dev_i + Adm_i + Ot_i)$$

El detalle de los metros cuadrados requeridos por cada plataforma y su respectivo detalle pueden ser validados en el **Anexo_DiseñoPlataformas.xlsx**

4. Estructura de Personal.

Con el fin de determinar la estructura de personal para cada plataforma logística se identifican en primera medida los posibles cargos que se requieren y en función de estándares de productividad se establecen las cantidades por proceso.

CARGO	FUNCIONES
COORDINADOR OPERACIONES	<ul style="list-style-type: none"> Garantizar el cumplimiento de los acuerdos de servicio establecido con las droguerías. Velar por la custodia y control del inventario,
DIRECTOR TECNICO	<ul style="list-style-type: none"> Garantizar el cumplimiento normativo y técnico de la plataforma logística.
SUPERVISOR OPERACIONES	<ul style="list-style-type: none"> Seguimiento y Control a la operación asignada.
AUXILIAR DE INFORMACION	<ul style="list-style-type: none"> Ejecutar procesos administrativos dentro del sistema de información.
MONTACARGUISTA	<ul style="list-style-type: none"> Manejo de los diferentes tipos de montacargas apoyando los procesos de alistamiento y almacenamiento.
AUXILIAR OPERACIONES RECIBO	<ul style="list-style-type: none"> Ejecutar el recibo de mercancías.
AUXILIAR OPERACIONES ALMACENAMIENTO	<ul style="list-style-type: none"> Ejecutar el almacenamiento de mercancías en los distintos tipos de ubicación
AUXILIAR OPERACIONES ALISTAMIENTO	<ul style="list-style-type: none"> Ejecutar el alistamiento de pedidos.
AUXILIAR OPERACIONES CERTIFICACION	<ul style="list-style-type: none"> Auditar y verificar los pedidos alistados.
AUXILIAR OPERACIONES ADUANA	<ul style="list-style-type: none"> Consolidar los pedidos de las diferentes zonas que completan la necesidad del cliente. Unificar los pedidos en función a las rutas establecidas.
AUXILIAR OPERACIONES DEVOLUCIONES	<ul style="list-style-type: none"> Gestionar la entrada, almacenamiento de productos provenientes de las droguerías por proceso de logista de reversa.
AUXILIAR INVENTARIOS	<ul style="list-style-type: none"> Gestionar los conteos selectivos, cíclicos y generales con el fin de mantener la confiabilidad de los inventarios.

Tabla 61: Cargos y funciones principales.

Para determinar estructura de personal necesaria para cada plataforma de abastecimiento, utilizamos la siguiente formulación.

CONCEPTO	FORMULACIÓN
Estructura de Personal	$PT_i = AOR_i + AOA_i + AOAl_i + AOC_i + AOAD_i + AOD_i + AOI_i + MO_i + AINF_i + SO_i$
• Coordinador de Operaciones	$CO_i = 1 \quad \forall i \in CEDIS, NODOS$
• Director Técnico	$DT_i = 1 \quad \forall i \in CEDIS, NODOS$
• Auxiliar Operaciones Recibo	$AOR_i = \frac{SKU_i}{dh * Pr}$
• Auxiliar Operaciones Almacenamiento	$AOA_i = \frac{SKU_i}{dh * Pa}$
• Auxiliar Operaciones Alistamiento	$AOAl_i = \frac{D_i}{dhm * Pal}$
• Auxiliar Operaciones Certificación	$AOC_i = \frac{D_i}{dhm * Pc}$
• Auxiliar Operaciones Aduana	$AOAD_i = \frac{PZ_i}{dhm * Pad}$
• Auxiliar Operaciones Devoluciones	$AOD_i = \frac{DEV_j}{dhd * Pdev}$
• Auxiliar Operaciones Inventarios	$AOI_i = \frac{SKU_i}{dhm * Pi}$
• Montacarguista	$MO_i = AOA_i * \tau$
• Auxiliar de Información	$AINF_i = (AOR_i + AOA_i + AOAl_i + AOC_i + AOAD_i + AOD_i + AOI_i + MO_i) * \gamma$
• Supervisor de Operaciones	$SO_i = \frac{(AOR_i + AOA_i + AOAl_i + AOC_i + AOAD_i + AOD_i + AOI_i + MO_i + AINF_i)}{CS}$

Tabla 62: Formulación matemática - Cálculo Estructura de Personal.

La descripción de los índices y variables se puede identificar en la **Tabla 48**.

5. Dotaciones

En el proceso logístico de salida se deben establecer embalajes o elementos estándares para el empaque de los medicamentos con el fin de garantizar la protección física del producto y así mismo poder estimar la necesidad logística en función de cantidades de contenedores, cubicaje del vehículo, capacidades volumétricas de aduanas de despacho o muelles para la salida de mercancías. La cantidad de contenedores a adquirir equivale a 4 veces el consumo promedio día,

teniendo presente el modelo de frecuencias establecido para este ejercicio el cual es de 2 frecuencias de abastecimiento.

SALIDA CONTENEDORES

MODELO 2 FRECUENCIAS	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Frecuencia Lunes - Jueves	100			100		
Frecuencia Martes - Viernes		100			100	
Frecuencia Miércoles - Sábado			100			100
	100	100	100	100	100	100

Tabla 63: Simulación salida de contenedores.

RETORNO CONTENEDORES

MODELO 2 FRECUENCIAS	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Frecuencia Lunes - Jueves	-	-	-	100	-	-
Frecuencia Martes - Viernes	-	-	-	-	100	-
Frecuencia Miércoles - Sábado	-	-	-	-	-	100
	-	-	-	100	100	100

Tabla 64: Simulación Retorno de Contenedores

Como se puede observar en la tabla 39, el retorno de contenedores se empieza a dar a partir del cuarto día que equivale a la segunda frecuencia, momento en el cual los contenedores están disponibles desde las droguerías para envío a los centros de abastecimiento; normalmente los contenedores entran a un proceso de limpieza antes de entrar nuevamente a estar disponibles para la operación de salida de mercancías, por lo tanto se determina que se deben tener 4 veces la necesidad promedio día para no tener ruptura de inventario en este elemento; la cantidad de contenedores a adquirir se expresaría de la forma $4P_{ik}$.

Las estibas, son utilizadas tanto en los procesos de almacenamiento, para mantener la mercancía que se va a almacenar en posiciones tipo palet, adicionalmente es usado para evitar que los productos tengan contacto directo con el piso por lo tanto, se identificó que en las siguientes zonas se debe contemplar la adquisición de estibas:

- Posiciones de almacenamiento tipo palet.
- Muelles de recibo
- Muelles de despacho.
- Aduana de recibo.
- Aduana de despacho.
- Estibas backup.

La necesidad de terminales de radiofrecuencia se calcula en función a los procesos que las requieren, para el caso base se identificaron 3 procesos claves donde se tiene el uso de este elemento, los cuales son los procesos de recepción, almacenamiento y alistamiento, por tanto, se utiliza el mismo modelo para utilizado para el cálculo de personal por procesos.

Los carros de Picking es un elemento utilizado en el proceso de alistamiento de pedidos mantienen una relación 1 a 1 con la necesidad de terminales de radiofrecuencia.

El cálculo de la necesidad de equipos de cómputo tiene una relacion1 a 1 con respecto a la cantidad de personas requeridas en los cargos de:

- COORDINADOR DE OPERACIONES
- DIRECTOR TECNICO
- AUXILIAR OPERACIONES CERTIFICACION
- AUXILIAR INFORMACION
- SUPERVISOR OPERACIONES

Por lo tanto para determinar la cantidad exacta de dotaciones requeridas por cada plataforma, se utiliza la siguiente formulación:

CONCEPTO	FORMULACIÓN
1. Embalaje para el Packing	$Pc_{ik} = 4P_{ik}$
2. Estibas plásticas	$ET_i = (Ea_i + Er_i + Ed_i + Ear_i + Ead_i + Eb_i)$
a. Almacenamiento	$Ea_i = Ul_{ei} \in e \text{ es igual a } 1 \text{ Palet}$
b. Muelle Recibo	$Er_i = \frac{Am_i}{Ae}$
c. Muelle Despacho	$Ed_i = \frac{Amd_i}{Ae}$
d. Aduana Recibo	$Ear_i = \frac{Ar_i}{Ae}$
e. Aduana Despacho	$Ead_i = \frac{Aad_i}{Ae}$
f. Estibas Backup	$Eb_i = (Ea_i + Er_i + Ed_i + Ear_i + Ead_i) * B$
3. Terminales Radiofrecuencia	$TR_i = AOR_i + AOA_i + AOAl_i$

4. Carros de Picking	$AOA_i = \frac{D_j}{dhm * Pal}$
5. Equipos de Computo	$EQ_i = CO_i + DT_i + AOC_i + AINF_i + SO_i$

Tabla 65: Formulación matemática - Cálculo dotaciones

La descripción de los índices y variables se puede identificar en la **Tabla 48**.

6. Adecuaciones civiles e infraestructura

Dentro de los costos asociados a abrir un están los costos de adecuaciones, los cuales para el desarrollo del ejercicio principalmente se establecieron los siguientes:

- PUNTOS ELECTRICOS – VOZ Y DATOS: Se calculan en función a los metros cuadrados, los cuales son requeridos para el uso de computadores, instalación de access point; los access point son dispositivos encargados de replicar o ampliar la red Wi-Fi para que las terminales de radiofrecuencia accedan a la red.
- CUARTO FRIO: Se calcula en función a los metros cuadrados definidos para esta zona.
- OBRA CIVIL: Se calcula en función al total de metros cuadrados estimados para la plataforma logística.
- RED CONTRA INCENDIOS: Se calcula en función al total de metros cuadrados estimados para la plataforma logística.
- SUPLENCIA ELECTRICA: Se calcula en función al total de metros cuadrados estimados para la plataforma logística.

7. Otros conceptos

Dentro de la ejecución de procesos dentro de una plataforma logística se identifican otros conceptos que dentro de la estructura de costos tienen un peso representativo los cuales son los recursos de aseo, seguridad y elementos como montacargas y estibadores; para determinar la cantidad a adquirir por plataforma se estableció la siguiente formulación:

CONCEPTO	FORMULACIÓN
1. Servicio de Aseo	$AS_i = PT_i * s$ $s = 0.04$
2. Servicio de Vigilancia	$SST_i = SSr_i + SSd_i + SSdev_i + SSdev_i + SSTv_i$

a. Recepción de mercancías	$SSr_i \begin{cases} 1 & i \in CEDIS, NODOS \\ 0 & i \in ZONA CORSSDOCKING \end{cases}$
b. Despacho de mercancías	$SSd_i \begin{cases} 2 & i \in CEDIS \\ 1 & i \in NODOS, ZONA CROSSDOCKING \end{cases}$
c. Devoluciones	$SSdev_i \begin{cases} 1 & i \in CEDIS \\ 0 & i \in NODOS, ZONA CORSSDOCKING \end{cases}$
d. Control e Ingreso Personal	$SSi_i = \frac{PT_i}{Capi}$
e. Monitoreo eléctrico - CCTV	$SStv_i = \frac{PT_i}{Capi}, SStv < 3$
3. Montacarga Eléctrica	$TMO_i = MO_i * 0.5$
4. Estibador Hidráulico	$TE_i = AOAD_i + AOA_i$

Tabla 66: Formulación matemática - Calculo otros conceptos.

La descripción de los índices y variables se puede identificar en la **Tabla 48**.

Los conceptos de Servicios Públicos donde están los servicios de energía y acueducto se estimarán en función al tamaño de la plataforma en metros cuadrados; esta misma metodología se utilizará para estimar los conceptos de mantenimiento preventivo, finalmente las pólizas y seguros se determinarán en función el valor del inventario a manera en cada plataforma.

ANEXO B: Optimización posibles escenarios.

Modelo	Nodos Explorados	Interacciones Simplex	Soluciones Encontradas	Optimo	Gap	Tiempo
Lead Time Max: 6.6501	790	472046	8	2,03E+09	0.0000%	193,2
Lead Time Max: 6.75	100	231550	12	1,82E+09	0.0074%	120,17
Lead Time Max: 6.875	803	647374	10	1,71E+09	0.0000%	185,32
Lead Time Max: 7.0	710	520370	10	1,64E+09	0.0067%	180,46
Lead Time Max: 7.125	1	207916	10	1,58E+09	0.0030%	121,07
Lead Time Max: 7.25	539	394135	10	1,56E+09	0.0000%	189,02
Lead Time Max: 7.375	483	244690	10	1,52E+09	0.0000%	117,65
Lead Time Max: 7.5	2390	493534	10	1,49E+09	0.0000%	166,15
Lead Time Max: 7.625	1	268566	6	1,47E+09	0.0007%	169,35
Lead Time Max: 7.75	1477	608029	10	1,45E+09	0.0000%	214,61
Lead Time Max: 7.875	5265	6951969	10	1,44E+09	0.0036%	719,87
Lead Time Max: 8.0	2233	1472323	10	1,43E+09	0.0068%	287,77
Lead Time Max: 8.125	6431	1469951	8	1,41E+09	0.0013%	228,37
Lead Time Max: 8.25	993	437610	7	1,40E+09	0.0066%	156,04
Lead Time Max: 8.375	1927	2756853	10	1,40E+09	0.0000%	450,76
Lead Time Max: 8.5	1849	2116155	10	1,38E+09	0.0028%	367,78
Lead Time Max: 8.625	264686	13075308	10	1,37E+09	0.0100%	746,73
Lead Time Max: 8.75	250	549638	10	1,36E+09	0.0066%	264,04
Lead Time Max: 8.875	5127	655041	10	1,35E+09	0.0017%	198,79
Lead Time Max: 9.0	31244	3236901	10	1,34E+09	0.0098%	344,63
Lead Time Max: 9.125	1488	1212779	10	1,33E+09	0.0054%	287,05
Lead Time Max: 9.25	798	872326	10	1,33E+09	0.0075%	333,46
Lead Time Max: 9.375	3720	3291227	10	1,32E+09	0.0078%	471,82
Lead Time Max: 9.5	1395	2492069	10	1,31E+09	0.0056%	467,8
Lead Time Max: 9.625	456	738410	10	1,30E+09	0.0000%	263,39
Lead Time Max: 9.75	1209	2120593	10	1,30E+09	0.0000%	417,28
Lead Time Max: 9.875	762	1337807	10	1,30E+09	0.0016%	349,04
Lead Time Max: 10.0	613	1489736	10	1,30E+09	0.0000%	345,86
Lead Time Max: 10.125	1687	1591662	10	1,29E+09	0.0066%	324,54
Lead Time Max: 10.25	717	1023082	10	1,28E+09	0.0068%	304,72
Lead Time Max: 10.375	845	1375821	10	1,28E+09	0.0000%	354,59
Lead Time Max: 10.5	773	1214628	10	1,28E+09	0.0000%	292,36
Lead Time Max: 10.625	1314	2438913	10	1,27E+09	0.0000%	454,13
Lead Time Max: 10.75	1432	2292596	10	1,27E+09	0.0000%	516,14
Lead Time Max: 10.875	2238	3313222	10	1,27E+09	0.0015%	605,75

Lead Time Max: 11.0	1316	1778756	10	1,27E+09	0.0000%	413,49
Lead Time Max: 11.125	1115	2293954	10	1,26E+09	0.0000%	436,19
Lead Time Max: 11.25	527	990170	10	1,26E+09	0.0000%	316,63
Lead Time Max: 11.375	676	1296771	10	1,26E+09	0.0000%	319,72
Lead Time Max: 11.5	255	584568	10	1,25E+09	0.0000%	230,35
Lead Time Max: 11.625	233	558368	2	1,23E+09	0.0036%	241,71
Lead Time Max: 11.75	38	327007	6	1,23E+09	0.0049%	198,85
Lead Time Max: 11.875	210	472418	8	1,22E+09	0.0000%	206,48
Lead Time Max: 12.0	270	433988	10	1,22E+09	0.0000%	200,36
Lead Time Max: 12.125	1	337608	9	1,20E+09	0.0000%	202,13
Lead Time Max: 12.25	1	233174	8	1,19E+09	0.0000%	175,47
Lead Time Max: 12.375	1	122657	5	1,19E+09	0.0000%	72,6
Lead Time Max: 12.5	1	135833	3	1,19E+09	0.0096%	86,24
Lead Time Max: 12.625	1	50203	1	1,19E+09	0.0000%	29,81
Lead Time Max: 12.75	1	57468	3	1,18E+09	0.0000%	36,32
Lead Time Max: 12.875	1	135775	5	1,18E+09	0.0000%	94,8
Lead Time Max: 13.0	1	61622	2	1,18E+09	0.0069%	35,46
Lead Time Max: 13.125	1	62946	3	1,18E+09	0.0000%	38,15

Tabla 67: Optimización, posibles escenarios diseño red de distribución.

ANEXO C: Revisión Bibliográfica - Aplicación diseño de redes de abastecimiento.

Número Artículo	Nombre Artículo	Año Artículo	Autor
1	A combined model of network design and production/distribution planning for a supply network	2002	(Jang et al., 2002)
2	Screening location strategies to reduce exchange rate risk	2002	(Lowe et al., 2002)
3	Design of international assembly systems and their supply chains under NAFTA	2005	(Wilhelm et al., 2005)
4	Multiobjective supply chain design under uncertainty	2005	(Guillén et al., 2005)
5	Distribution network design: New problems and related models	2005	(Ambrosino & Grazia Scutellà, 2005)
6	Environmentally conscious long-range planning and design of supply chain networks	2005	(Hugo & Pistikopoulos, 2005)
7	Global supply chain design: A literature review and critique	2005	(Meixell & Gargeya, 2005)
8	Dynamic multi-commodity capacitated facility location: a mathematical modeling framework for strategic supply chain planning	2006	(Melo et al., 2006)
9	Designing logistics networks in divergent process industries: A methodology and its application to the lumber industry	2006	(Vila et al., 2006)
10	Reverse logistics network design with stochastic lead times	2007	(Lieckens & Vandaele, 2007)
11	Logistics distribution center's location problem and algorithm under fuzzy environment	2007	(L. Yang et al., 2007)
12	An evaluation of new heuristics for the location of cross-docks distribution centers in supply chain network design	2008	(Ross & Jayaraman, 2008)
13	Dynamic supply chain design with inventory	2008	(Hinojosa et al., 2008)
14	Facility location and supply chain management – A review	2009	(Melo et al., 2009)
15	Scenario-based Supply Chain Network risk modeling	2012	(Klibi & Martel, 2012)
16	Pharmaceutical supply chain specifics and inventory solutions for a hospital case	2012	(Kelle et al., 2012)
17	A supply chain generalized network oligopoly model for pharmaceuticals under brand differentiation and perishability	2012	(Masoumi et al., 2012)

18	Integrated supply chain planning for multinational pharmaceutical enterprises	2012	(Susarla & Karimi, 2012)
19	Competitive supply chain network design: An overview of classifications, models, solution techniques and applications	2014	(Farahani et al., 2014)
20	Two-echelon multiple-vehicle location–routing problem with time windows for optimization of sustainable supply chain network of perishable food	2014	(K. Govindan et al., 2014)
21	Optimal joint replenishment, delivery, and inventory management policies for perishable products	2014	(Coelho & Laporte, 2014)
22	Modelling food logistics networks with emission considerations: The case of an international beef supply chain	2014	(Soysal et al., 2014)
23	Designing a new supply chain for competition against an existing supply chain	2014	(Rezapour et al., 2014)
24	Multi-objective biogeography-based optimization for supply chain network design under uncertainty	2014	(G. Q. Yang et al., 2015)
25	A robust possibilistic programming approach for pharmaceutical supply chain network design	2015	(Mousazadeh et al., 2015)
26	Planning operations before market launch for balancing time-to-market and risks in pharmaceutical supply chains	2015	(Hansen & Grunow, 2015)
27	Bi objective integrating sustainable order allocation and sustainable supply chain network strategic design with stochastic demand using a novel robust hybrid multi-objective metaheuristic	2015	(Kannan Govindan et al., 2015)
28	Retail supply chain network design under operational and disruption risks	2015	(Salehi Sadghiani et al., 2015)
29	An optimization-simulation approach to the network redesign problem of pharmaceutical wholesalers	2017	(Martins et al., 2017)
30	Flexible supply chain network design under uncertainty	2017	(Chatzikontidou et al., 2017)
31	Optimizing an equilibrium supply chain network design problem by an improved hybrid biogeography-based optimization algorithm	2017	(G. Yang & Liu, 2017)
32	Design of a pharmaceutical supply chain network under uncertainty considering perishability and substitutability of products	2018	(Zahiri et al., 2018b)
33	Recent advances in hybrid priority-based genetic algorithms for logistics and SCM network design	2018	(Gen et al., 2018)
34	Selection of warehouse location for a global supply chain: A case study	2018	(Singh et al., 2018)
35	Supply chain network design with direct and indirect production costs: Hybrid gradient and local search-based heuristics	2018	(Alzaman et al., 2018)
36	Integrated optimization of location, inventory, and routing in supply chain network design	2019	(Zheng et al., 2019)
37	Fuzzy Bi-Objective Model for a Supply Chain Network Design Problem Considering Stochastic Transportation Leadtime	2019	(Sadeghi et al., 2019)

38	Robust optimization of a bi-objective closed-loop supply chain network for perishable goods considering queue system	2019	(Darestani & Hemmati, 2019)
39	Synchronized scheduling of make to order plant and cross-docking warehouse	2019	(Luo et al., 2019)
40	A fuzzy-stochastic multi-objective model for sustainable planning of a closed-loop supply chain considering mixed uncertainty and network flexibility	2020	(Yu & Solvang, 2020)
41	A novel hybrid method using fuzzy decision making and multiobjective programming for sustainable-reliable supplier selection in two-echelon supply chain design	2020	(Tirkolaee et al., 2020)
42	A multi-objective pharmaceutical supply chain network based on a robust fuzzy model: A comparison of meta-heuristics	2020	(Goodarzian et al., 2020)
43	An integrated location-routing-inventory model for sustainable design of a perishable products supply chain network	2020	(Biuki et al., 2020)
44	Data-driven sustainable supply chain through centralized logistics network: Case study in a Finnish pharmaceutical distributor company	2020	(Shamsuzzoha et al., 2020)
45	Hybrid adaptive simplified human learning optimization algorithms for supply chain network design problem with possibility of direct shipment	2020	(Shoja et al., 2020)
46	On the sustainable perishable food supply chain network design: A dairy products case to achieve sustainable development goals	2020	(Jouzdani & Govindan, 2020)

Tabla 68: Revisión Bibliográfica - Aplicación diseño de redes de abastecimiento. (Elaboración Propia)

ANEXO D: Lista de anexos externos

- **Instrumento_Entrevista_Experto.pdf**

En este anexo se detalla las consideraciones identificadas en el caso base de estudio, desde el punto de vista organizacional con el fin de entender la configuración de la red de abastecimiento, los actores, procesos, oportunidades, problemática y expectativas de mejora.

- **Anexo_DiseñoPlataformas.xlsx**

En este anexo muestra en detalle los resultados obtenidos de la formulación matemática establecida para el diseño de las plataformas de abastecimiento, así como los arcos de envío y suministros utilizados en el modelo de optimización

Diseño de Plataformas de Abastecimiento y Distribución (Centros de Abastecimiento, Nodos y Plataformas CrossDocking)

Indice	Vinculo
Diseño Plataformas de Abastecimiento	
1. Capacidad Estimada	
1.1 Matriz de Viabilidad	1.1
2. Posiciones de Almacenamiento	2
3. Metros Cuadrados	3
4. Estructura de Personal	4
5. Dotaciones	5
6. Adecuaciones Civiles	6
7. Otros Conceptos	7
Estructura de Costos	
8. Costos Fijos de Abrir - Variables	8
Arcos de Envío y Suministro	
9. Arcos de envío	9
10. Arcos de suministro	10

- **Modelo_Optimizacion.rar**

En este anexo se relacionan los ejecutables del modelo de optimización, los parámetros de entrada y sus respectivos resultados de salida

- **Propuesta_Trabajo Final_IDLC.pdf**

Propuesta de trabajo final aprobada.