

Optimización del proceso de última milla en la empresa Cruz Verde

Nataly Daniela García Palacios

Director

Elkin Manuel Uparela Vásquez

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD
Escuela de Ciencias Básica Tecnología e Ingeniería
Especialización en Gerencia Logística y Redes de Valor
2025

Resumen

Este proyecto aplicado aborda la optimización de la logística de última milla en Cruz Verde, específicamente en su operación de domicilios en Bogotá. A partir de una problemática identificada: tiempos de entrega prolongados, altos costos logísticos y baja satisfacción del cliente, se propuso diseñar un modelo de enrutamiento eficiente que permitiera mejorar la eficiencia operativa sin incrementar los costos.

La investigación adoptó un enfoque metodológico mixto. Por un lado, se aplicaron encuestas estructuradas al personal clave de la operación para captar percepciones cualitativas (ver Anexo 1); por otro lado, se analizaron datos cuantitativos históricos de tiempos de entrega, costos logísticos y comportamiento de ventas. Los resultados evidenciaron debilidades en la gestión de los proveedores 3PL, rutas no optimizadas y un cumplimiento deficiente de la promesa de servicio.

Basado en hallazgos bibliográficos sobre modelos de enrutamiento y segmentación de la demanda, se diseñó una propuesta que clasifica los pedidos en “sameday” y “nextday”, aplicando tarifas diferenciadas e implementando rutas agrupadas para los pedidos programados. La intervención permitió renegociar tarifas con los proveedores, mejorar la eficiencia del recurso logístico y redistribuir la demanda según la urgencia de entrega.

La evaluación de resultados mostró un impacto positivo: el tiempo promedio de entrega disminuyó de 75 a 62 minutos, el SLA aumentó al 91% y el porcentaje de pedidos “nextday” creció del 11% al 18%, sin aumentar el indicador gasto/venta (que se mantuvo por debajo del 10.5%). Así, el proyecto demostró ser eficaz al mejorar la experiencia del cliente, optimizar

recursos y posicionar a Cruz Verde como referente en logística farmacéutica digital en Colombia.

Palabras Clave: Logística, última milla, domicilios, farmacias, optimización de rutas, niveles de servicio.

Abstract

This applied research project addresses last-mile logistics optimization at Cruz Verde, focusing on its home delivery operations in Bogotá. The study originates from identified issues such as long delivery times, high logistical costs, and low customer satisfaction. Its main objective was to design an efficient routing model capable of improving operational performance without increasing costs.

A mixed-methods approach was used. Qualitative data was gathered through structured surveys applied to key personnel involved in the delivery process, while quantitative analysis relied on historical data regarding delivery times, logistics costs, and sales behavior. The findings revealed inefficiencies related to third-party logistics providers (3PL), poorly optimized routes, and weak fulfillment of the delivery promise.

Drawing upon academic literature on vehicle routing models and demand segmentation, the project proposed a dual delivery model: “sameday” and “nextday” services. Differentiated pricing and route grouping were implemented for nextday orders. The strategy also enabled cost renegotiation with providers and more effective resource allocation based on delivery urgency.

The evaluation phase demonstrated positive outcomes: the average delivery time was reduced from 75 to 62 minutes, the SLA increased to 91%, and nextday orders rose from 11% to 18%, all while maintaining the logistics cost-to-sales ratio below 10.5%. These results confirm the project's effectiveness in enhancing customer experience, optimizing last-mile logistics, and positioning Cruz Verde as a competitive and innovative player in Colombia's digital pharmaceutical market.

Keywords: Logistics, last mile, home delivery, pharmacies, route optimization, service levels.

Tabla de contenido

Introducción	9
Objetivos	11
Objetivo General	11
Objetivos Específicos.....	11
Marco Referencial.....	12
Marco Contextual u Objeto Práctico.....	12
Sector de Desarrollo Empresarial	12
Información de La Empresa en la que se Desarrolla el Proyecto	14
Historia y Evolución de Cruz Verde Colombia	16
Marco Teórico u Objeto Teórico	19
Conceptualización de Términos.....	23
Estado del Arte.....	24
Metodología Desarrollada.....	31
Tipo de Investigación y Enfoque	32
Instrumentos y Técnicas	33
Revisión Documental.....	33
Encuesta Estructurada.....	34
Análisis de Datos Históricos.....	35
Etapas de Desarrollo	36
Etapa 1: Revisión Bibliográfica	36
Etapa 2: Recolección de Datos Iniciales	37

Etapa 3: Análisis de Datos y Diagnóstico	38
Etapa 4: Desarrollo de Estrategia de Optimización	44
Diseño de Instrumentos Para la Recolección de Información	46
Técnicas Para el Procesamiento de Datos y Validación de Resultados	48
Presentación de Resultados	52
Conclusiones	56
Referencias Bibliográficas	59
Anexos	65

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Respuesta a la pregunta 1 del cuestionario</i>	39
Figura 2 <i>Respuesta a la pregunta 2 del cuestionario</i>	39
Figura 3 <i>Respuesta a la pregunta 3 del cuestionario</i>	40
Figura 4 <i>Respuesta a la pregunta 4 del cuestionario</i>	40
Figura 5 <i>Respuesta a la pregunta 5 del cuestionario</i>	41
Figura 6 <i>Respuesta a la pregunta 6 del cuestionario</i>	41
Figura 7 <i>Promedio tiempos de entrega Bogotá enero a abril 2024</i>	42
Figura 8 <i>Porcentaje cumplimiento SLA Bogotá de enero a abril 2024</i>	42
Figura 9 <i>Porcentaje de penetración nextday en Bogotá de enero a abril 2024</i>	43
Figura 10 <i>Porcentaje gasto/venta domicilios Bogotá de enero a abril 2024</i>	43
Figura 11 <i>Imagen de cómo se relacionó el cobro diferencial en la página web</i>	45
Figura 12 <i>Comparativo de tiempos promedio antes y después del modelo</i>	53
Figura 13 <i>Comparativo de cumplimiento de SLA antes y después del modelo</i>	53
Figura 14 <i>Comparativo de la penetración antes y después de la del modelo</i>	54
Figura 15 <i>Comparativo del gasto/venta antes y después del modelo</i>	55

Introducción

El presente trabajo de proyecto aplicado se enmarca en el contexto del curso de seminario de investigación, donde se exploran diversas líneas investigativas y opciones para profundizar en temas de interés profesional. En este sentido, se abordará el análisis de la función de la última milla en las empresas de venta por digital (e-commerce), así como las propuestas innovadoras presentes en la literatura especializada en logística.

Este trabajo se enfoca en la implementación de una propuesta para optimizar los tiempos de entrega en la última milla de la empresa Cruz Verde Colombia, con el fin de reducir tanto los tiempos de entrega como los costos asociados. La iniciativa se desarrollará en el contexto específico de las operaciones de la compañía en la ciudad de Bogotá, que actualmente comercializa sus productos a través de su página web y aplicación móvil. Dado que cualquier mejora en la eficiencia operativa puede traducirse en beneficios significativos, esta temática representa un interés estratégico para Cruz Verde Colombia.

La investigación comenzó con una revisión de fuentes formales que abordan estudios previos sobre la temática; a partir de este análisis, se busca integrar los conceptos y enfoques estudiados. El siguiente paso consiste en recopilar información mediante una encuesta dirigida a empleados involucrados en la gestión de la última milla en Cruz Verde; el objetivo de este estudio es obtener una comprensión detallada de la situación actual de la empresa. Por último, se analizarán datos históricos de tiempos de última milla y gasto, para tener una visión cuantitativa de los tiempos de entrega y gastos operativos de la empresa y así poder plantear los objetivos de mejora. Esta información, junto con los hallazgos de la literatura, permitirá desarrollar un

método de optimización de tiempos a través de rutas de envío que se ajuste al mercado colombiano y a los productos distribuidos por Cruz Verde Colombia.

Objetivos

Objetivo General

Implementar un modelo de enrutamiento eficiente que optimice los tiempos de entrega a los clientes en la última milla de Cruz Verde en Bogotá.

Objetivos Específicos

Analizar las principales causas que enfrenta Cruz Verde en el proceso de última milla en Bogotá, mediante un diagnóstico interno del equipo operativo y la revisión de datos históricos, con el fin de identificar los factores que generan tiempos de entrega prolongados, y deficiencias en el control del proceso

Proponer unas pautas adecuadas para la implementación del modelo optimización de tiempos de entrega en la última milla, considerando las necesidades específicas y el contexto operativo de Cruz Verde en la ciudad de Bogotá

Medir la implementación propuesta durante siete meses para evaluar la efectividad del proyecto aplicado.

Marco Referencial

Marco Contextual u Objeto Práctico

A continuación, se profundizará en los conceptos clave relacionados con la optimización de la última milla en empresas de e-commerce, tomando como referencia la operación de Cruz Verde en la ciudad de Bogotá. Como se menciona en la introducción, este análisis aborda metodologías propuestas en la literatura académica y especializada para mejorar las rutas de entrega, con el fin de reducir tiempos y costos operativos. Este espacio explora la situación actual de Cruz Verde en la ciudad de Bogotá, evaluando tanto su estructura logística como las innovaciones aplicables, y plantea una aproximación metodológica para abordar los retos específicos de la empresa en el contexto colombiano.

A partir de la información recolectada en fuentes formales y la experiencia interna de la compañía, se examinará el estado actual de sus operaciones logísticas y se identificarán áreas de mejora. Esto permitirá desarrollar un enfoque práctico para optimizar los procesos de la última milla y proponer soluciones que incrementen la eficiencia operativa en Cruz Verde, beneficiando su plataforma de venta online y mejorando la experiencia del cliente.

Sector de Desarrollo Empresarial

El sector farmacéutico en Colombia experimenta un crecimiento sostenido, impulsado por la creciente demanda de productos de salud, medicamentos y productos relacionados con el bienestar. Este sector, compuesto por grandes cadenas de farmacias, laboratorios y distribuidores, enfrenta el reto de asegurar un flujo constante y eficiente de productos hacia el consumidor final, especialmente a través de canales digitales. Las rigurosas normativas que garantizan la seguridad y eficacia de los productos distribuidos imponen un reto logístico

considerable. Las empresas deben cumplir con estrictos estándares de almacenamiento y transporte, incluyendo condiciones de temperatura controlada, trazabilidad y seguridad en la entrega. (Farmacias, MGroup, 2023)

En este contexto, la logística de última milla adquiere una importancia crucial, ya que impacta directamente en la satisfacción del cliente debido al tiempo y calidad de la entrega. El auge del e-commerce ha incrementado las entregas a domicilio, exigiendo tiempos de entrega más cortos y mayor fiabilidad en la distribución. Las expectativas del cliente, exacerbadas por el crecimiento del comercio digital, ejercen presión sobre las operaciones logísticas, lo que demanda una continua optimización de rutas, el uso de tecnologías emergentes y estrategias para reducir los costos asociados. (Cámara Colombiana de Comercio Electrónico, 2022)

El sector farmacéutico presenta características únicas, como la necesidad de condiciones especiales de transporte, la demanda constante y crítica de sus productos, y la diversificación en el tipo de bienes distribuidos. En este sentido, la optimización de la última milla enfrenta retos como mantener la cadena de frío, la precisión en la entrega y cumplir con ventanas de tiempo ajustadas, sobre todo para productos urgentes como medicamentos críticos.

La pandemia de COVID-19 aceleró la digitalización del sector, impulsando el e-commerce farmacéutico y el desarrollo de plataformas online. (Cámara Colombiana de Comercio Electrónico, 2022). Empresas como Cruz Verde han ampliado su presencia digital, ofreciendo opciones de entrega rápida, lo que ha incrementado la presión sobre su infraestructura logística, particularmente en la última milla. A nivel global, el e-commerce ha experimentado un auge debido a la penetración de internet, la adopción de dispositivos móviles y las plataformas que facilitan la compra rápida y conveniente. La postpandemia impulsó aún más el uso de

plataformas en línea para la compra de medicamentos, lo que llevó a una mayor demanda de entregas a domicilio. (Malhotra, 2021)

A medida que la facilidad de compra a través de e-commerce aumenta, también lo hacen las expectativas de los consumidores en cuanto a entregas rápidas, confiables y económicas. Esto pone una presión considerable sobre la logística, especialmente en la última milla, donde surgen varios desafíos, tales como la demanda de entregas inmediatas en ciudades congestionadas, la fragmentación de pedidos de bajo volumen y el impacto en la sostenibilidad debido al aumento de vehículos en las calles.

Para hacer frente a estos retos, las empresas están adoptando diversas estrategias innovadoras. Entre ellas, la creación de centros de distribución urbanos, el uso de algoritmos de optimización de rutas, la tercerización de servicios logísticos y la implementación de vehículos sostenibles, como bicicletas de carga y vehículos eléctricos. Estas soluciones buscan mejorar la eficiencia y reducir los costos, al tiempo que mitigan el impacto ambiental.

Tanto el sector farmacéutico como el e-commerce requieren soluciones logísticas innovadoras para satisfacer las demandas del consumidor moderno. La optimización de la última milla, mediante el uso de tecnologías avanzadas y estrategias sostenibles, es esencial para el éxito en estos sectores. Este trabajo aplicado para Cruz Verde busca precisamente abordar estos desafíos, proponiendo un modelo de enrutamiento eficiente para la entrega de productos farmacéuticos a través del canal digital.

Información de La Empresa en la que se Desarrolla el Proyecto

Cruz Verde es una de las empresas más destacadas en el sector farmacéutico en Colombia, especializada en la distribución y comercialización de productos farmacéuticos, productos para el cuidado de la salud y cosméticos. Desde su creación en 2012, la empresa ha

crecido exponencialmente, estableciendo una red de tiendas físicas a nivel nacional. (Cruz Verde , 2024) Además, en 2019, Cruz Verde amplió su estrategia de ventas mediante el lanzamiento de su plataforma de comercio electrónico, permitiendo a sus clientes realizar compras en línea y recibir sus productos a domicilio. (Asociación Colombiana de Informática, Sistemas y Tecnologías Afines, 2021). La logística de última milla en Cruz Verde representa un desafío crucial. Al subcontratar a proveedores de logística 3PL, Cruz Verde enfrenta problemas relacionados con la falta de visibilidad sobre el estado de los pedidos en tiempo real, tiempos de entrega prolongados, y costos elevados en la fase final de distribución. A pesar de estas dificultades, la empresa se ha comprometido a mejorar su servicio de entrega a domicilio, lo que resulta fundamental para cumplir con la promesa de entrega al cliente y mantenerse competitiva en el mercado.

En particular, los desafíos de la última milla se han acentuado debido a la densidad del tráfico en ciudades grandes como Bogotá y la dificultad de planificar rutas eficientes que minimicen los tiempos de entrega. Además, el costo de operar en esta fase es elevado, tanto por el uso de motorizados como por la tercerización de servicios logísticos. Este trabajo busca abordar estos problemas mediante el diseño de un modelo de enrutamiento optimizado, con el fin de mejorar la eficiencia operativa de la empresa.

Al profundizar sobre la empresa Cruz Verde en Colombia, se pueden destacar varios aspectos adicionales que enriquecen el análisis, tanto desde su evolución histórica y su estructura organizativa, como desde sus retos específicos en la logística de última milla y su relación con el mercado farmacéutico. Cruz Verde es una empresa que ha consolidado su presencia en el país y ha logrado posicionarse como uno de los actores principales en la distribución de productos farmacéuticos. (Droguerías Cruz Verde, 2024)

Historia y Evolución de Cruz Verde Colombia

Cruz Verde es una cadena de farmacias que forma parte de la multinacional chilena Socofar (Sociedad de Fomento Farmacéutico), que a su vez pertenece al grupo empresarial mexicano Femsa. Su presencia en Colombia se consolidó en 2012 con la apertura de tiendas físicas en varias ciudades importantes del país. Cruz Verde ha crecido rápidamente a lo largo de la última década, expandiendo tanto su número de tiendas físicas como su participación en el mercado digital mediante la venta de productos farmacéuticos y de salud a través de su plataforma en línea. (Droguerías Cruz Verde, 2024)

Desde sus inicios en el mercado colombiano, Cruz Verde ha logrado una fuerte expansión, contando con más de 500 puntos de venta distribuidos estratégicamente en todo el país, lo que le permite cubrir un amplio territorio y atender tanto a grandes centros urbanos como a localidades más pequeñas (La República, 2021). Esta amplia red de puntos de venta es un elemento diferenciador frente a otros competidores del sector. Además, ofrece una variedad extensa de productos que van desde medicamentos de venta libre hasta productos de cuidado personal, dermocosméticos y dispositivos médicos.

La empresa ha hecho una fuerte inversión en la digitalización de sus servicios, lo que le ha permitido integrarse al ecosistema de comercio electrónico, ofreciendo un catálogo digital accesible para los consumidores, quienes pueden realizar compras en línea y recibir los productos directamente en sus domicilios. (Asociación Colombiana de Informática, Sistemas y Tecnologías Afines, 2021). Este enfoque en la digitalización se ha acelerado con la pandemia de COVID-19, lo que ha resultado en un aumento significativo en las ventas por comercio electrónico.

Cruz Verde sigue un modelo de negocio omnicanal, que integra sus puntos de venta físicos con su plataforma digital, lo que permite a los clientes realizar pedidos en línea y recibir sus productos a través de entregas a domicilio o en la tienda de su elección. Esta estrategia ha sido fundamental para enfrentar la creciente demanda de entregas rápidas y convenientes, especialmente en tiempos de pandemia.

La empresa cuenta con un robusto sistema logístico para garantizar que los productos estén disponibles en todas sus sucursales y que las entregas a domicilio se realicen de manera eficiente. Cruz Verde opera a través de centros de distribución regionales, que abastecen tanto a las tiendas físicas como a los pedidos en línea. Estos centros están estratégicamente ubicados para minimizar los tiempos de entrega y optimizar la gestión de inventarios. (ConsultorSalud, 2024)

Uno de los retos más importantes que enfrenta Cruz Verde es la gestión de la última milla, dado que este es el punto más crítico en la logística de comercio electrónico. En este proceso, Cruz Verde subcontrata a terceros (3PL) para la realización de las entregas a domicilio, lo que le permite manejar el volumen de pedidos, pero también impone dificultades relacionadas con el control sobre el servicio de entrega, como los tiempos y la calidad del servicio.

En términos de logística de última milla, Cruz Verde enfrenta varios desafíos clave como lo son los tiempos de entrega, ya que, al operar en grandes ciudades como Bogotá, Medellín y Cali, Cruz Verde enfrenta los problemas de congestión vehicular y altos tiempos de tránsito, lo que afecta la capacidad de cumplir con las promesas de entrega rápida. Esto se complica aún más en áreas rurales, donde la infraestructura de transporte puede no estar tan desarrollada. Por otro lado, la subcontratación de logística para la entrega a domicilio ha permitido a Cruz Verde manejar el volumen creciente de pedidos, pero también introduce problemas en cuanto al control

de la calidad del servicio, como el cumplimiento de los tiempos de entrega y la trazabilidad en tiempo real. Esto también puede afectar la percepción de los clientes sobre el servicio. Y respecto a la satisfacción del cliente, como en muchos modelos de negocio centrados en la venta por internet, la experiencia del cliente con las entregas es un factor clave para la fidelización. Las entregas tardías o la falta de visibilidad en el estado del pedido pueden generar insatisfacción, lo que impacta la imagen de la empresa. Cruz Verde, por tanto, tiene que equilibrar el costo y la eficiencia con la calidad del servicio para cumplir con las expectativas del cliente.

Cruz Verde está posicionada para continuar su crecimiento en el sector farmacéutico colombiano, especialmente con la expansión de su canal de comercio electrónico. Sin embargo, para mantener su competitividad, la empresa deberá seguir invirtiendo en innovaciones tecnológicas y mejorar su gestión logística, particularmente en la última milla, donde los desafíos son más complejos y los márgenes de mejora más amplios. (Portafolio, 2024)

El objetivo de optimizar la logística de última milla, como se aborda en este proyecto aplicado, es un paso importante para garantizar que Cruz Verde continúe ofreciendo un servicio de alta calidad a sus clientes, tanto en la tienda como a través de entregas a domicilio.

Marco Teórico u Objeto Teórico

Para comprender y abordar el problema de investigación relacionado con el diseño de un modelo de enrutamiento eficiente en la última milla de la cadena de suministro de Cruz Verde en Bogotá, se consideran diversas teorías y enfoques identificados a partir de la revisión de artículos y otros conceptos relevantes.

Evolución de la Logística de la Última Milla en el Comercio Electrónico: La expansión del comercio electrónico ha impulsado el interés en la optimización de la última milla. Este enfoque está ligado a las diferentes modalidades de entrega y la necesidad de adaptarse a las expectativas de los clientes en cuanto a tiempos de entrega y calidad del servicio. (Flórez Oviedo & López Hincapié, 2023). Este artículo detalla específicamente factores clave que permiten identificar como construir un modelo logístico frente a la distribución en ventas e-commerce, de esta manera aporta ideas sobre como iniciar el proceso de ultima milla y los avances y mejoras que se pueden implementar.

Modelos de Costeo y Simulación de Características de la Última Milla: El análisis detallado de los costos asociados con la gestión de la última milla es fundamental para identificar áreas de oportunidad en la reducción de costos. Esto incluye costos de envío individuales, costos dentro de ventanas horarias específicas, costos en zonas geográficas particulares y costos de envío por agrupación de productos. (Gevaersa, Van de Voorde, & Vanel, 2014). Con esta lectura se resalta la importancia de la evaluación financiera de cualquier implementación de se deba hacer en la logística de última milla, ya que impactara directamente sobre las ganancias de la compañía y debe estar correctamente presupuestada

Impacto Ambiental y Sostenibilidad en la Última Milla: La sostenibilidad se ha convertido en un aspecto crucial de la logística de la última milla. La optimización de rutas y la utilización de medios de transporte más sostenibles, como las bicicletas, pueden contribuir tanto a la eficiencia operativa como al beneficio ambiental. (Ramos Cassiano, Vieira Bertoncini, & de Oliveira, 2021). Este factor es importante para poderlo incluir en los proyectos a desarrollar, si bien no siempre es posible desde el inicio incluir transportes sostenibles, se debe valorar los beneficios económicos y ambientales que a futuro se pueden trabajar con las políticas ambientales que impulsan los gobiernos actualmente.

Los algoritmos metaheurísticos, ofrecen un enfoque innovador para resolver problemas de enrutamiento de vehículos con limitaciones de capacidad. Estos algoritmos pueden ser adaptados para diseñar rutas eficientes que minimicen los costos operativos y optimicen el uso de la flota de vehículos. (Daza, Montoya, & Narducci, 2009). El modelo es una de las opciones viables para implementación de modelos de enrutamiento, sin embargo, es importante validar los costos de implementación de los sistemas para cálculos de algoritmos.

Evaluación de la Impedancia de la Red de Transporte en la Última Milla: La medición de la impedancia de la red de transporte permite identificar los principales obstáculos en la planificación de rutas de entrega en la última milla. Este enfoque, basado en Sistemas de Información Geográfica (SIG), ayuda a mitigar posibles retrasos en la entrega de productos y a mejorar el tiempo de entrega a los clientes. (Ewedairo, Chhetri, & Dodson, 2015). La lectura detalla diferentes factores que pueden generar retrasos y son de gran importancia para tenerlos en cuenta en la construcción de modelos de optimización.

Indicadores de Gestión Logística (KPI): La medición y seguimiento de indicadores clave de rendimiento son fundamentales para evaluar el desempeño de las operaciones logísticas y de

la cadena de suministro. Estos indicadores proporcionan información objetiva que guía la toma de decisiones y la mejora continua de procesos, contribuyendo a la eficiencia y excelencia organizacional. (Mora García, 2005). Este texto es uno de los más relevantes aportando información sobre los ítems que son posibles medir dentro de una operación de última milla y que permiten identificar si alguna implementación es favorable o se debe reajustar.

Algoritmos de optimización para secuenciación adaptativa de rutas reales en entregas de última milla: El concepto de optimización de rutas es clave para reducir los tiempos de entrega y los costos operativos. Según el estudio el uso de algoritmos de aprendizaje automático combinados con metaheurísticas puede mejorar significativamente la eficiencia de las rutas, adaptándose a las particularidades de cada región o ciudad (Hernandez, Sotelo, & Forets, 2024). De este artículo se resalta la idea de la realización de rutas y los beneficios que pueden generar al optimizar el despacho de mercancía, específicamente para el proyecto se buscó adaptar los conceptos a la funcionalidad en la última milla y la necesidad de entregas en menor tiempo posible.

Los indicadores de desempeño de la distribución urbana de mercancías: El seguimiento en tiempo real es esencial para garantizar la trazabilidad y el cumplimiento de las promesas de entrega, la incorporación de tecnologías de rastreo permite medir indicadores clave de desempeño y facilita la toma de decisiones para ajustar operaciones en tiempo real. (Molina, Gómez, & Serna, 2024). Este artículo indica un factor clave dentro de lo que se puede aplicar en el área de última milla y es el cumplimiento de promesas de entrega. Siendo la última parte de la cadena logística, es un factor crucial lograr cumplir al cliente dentro de los límites propuestos al momento de la compra.

Retos actuales de la logística y la cadena de suministro: La pandemia de COVID-19 ha intensificado la necesidad de fortalecer las relaciones con los proveedores de logística para asegurar la continuidad y la calidad del servicio. (Sánchez Suárez, Pérez Castañeira, Sangroni Laguardia, Cruz Blanco, & Medina Nogueira, 2021) . Este artículo resalta el modelo de logística de última milla que trabaja Cruz Verde desde sus inicios con la venta e-commerce en 2019 y así mismo permite identificar los retos que los comercios en general presentan frente a los proveedores logísticos, logrado entregar una visión ampliada de oportunidades para trabajar entre cliente y proveedor que son implementables durante el desarrollo del proyecto.

Evolución de las cadenas de suministro para el comercio electrónico y una última milla sustentable: La sostenibilidad en la logística de última milla es una tendencia creciente, especialmente en áreas urbanas donde el impacto ambiental es mayor. El artículo destaca el uso de vehículos eléctricos y hubs urbanos como soluciones sostenibles para reducir las emisiones y mejorar la eficiencia en la última milla. (Cruz Mejía & Bustamante Delgadillo, 2022)

Al incorporar estos enfoques teóricos en la formulación del modelo de enrutamiento eficiente para la última milla de Cruz Verde en Bogotá, podemos diseñar una estrategia sólida que aborde los desafíos específicos relacionados con los tiempos de entrega prolongados, los costos elevados y control en el proceso de entrega a domicilio.

El marco teórico presentado condensa los conceptos, metodologías y herramientas relevantes para la creación de un modelo de enrutamiento eficaz en la última milla de la cadena de suministro de Cruz Verde en Bogotá. Entre los aspectos fundamentales para tener en cuenta se encuentran la optimización de costos, la aplicación de algoritmos de enrutamiento, la evaluación de la impedancia de la red de transporte y la utilización de indicadores de gestión logística. La

integración de estos elementos permitirá a Cruz Verde mejorar la eficiencia de sus entregas, reducir costos y ofrecer una experiencia de cliente más satisfactoria.

Conceptualización de Términos

Logística de Última Milla: Se refiere a la fase final del proceso logístico en el cual los productos son entregados desde un punto de distribución hasta el destino final, es decir, el cliente. Es una de las fases más costosas y complejas de la cadena de suministro, ya que requiere una alta coordinación y eficiencia en la distribución. (Coordinadora, 2024)

Optimización de Rutas: Es el proceso de diseñar rutas de distribución de manera que se minimicen los costos de transporte y el tiempo de entrega. Para ello, se utilizan algoritmos y modelos matemáticos que optimizan variables como la distancia, la capacidad de los vehículos, y el tiempo. (Peralta Abarca, Moreno Bernal, Bonilla Sanchez, & Hernández Aguilar, 2024)

Subcontratación a 3PL (Third-Party Logistics): Implica el uso de proveedores externos para gestionar parte o la totalidad de los procesos logísticos de una empresa. En el caso de Cruz Verde, los proveedores 3PL son responsables de la entrega de los productos a los clientes finales, lo que introduce complejidades adicionales en el control de la calidad del servicio. (Coordinadora, 2022)

Las ventanas de entrega: son períodos de tiempo específicos durante los cuales el cliente espera recibir su pedido. Este concepto es especialmente relevante en la logística de última milla, donde la planificación eficiente de las ventanas de entrega es crucial para optimizar las rutas y reducir los tiempos de espera. (Distpatchtrack, 2023)

Nivel de Servicio (SLA - Service Level Agreement): Es un indicador clave en la logística y hace referencia al grado en que una empresa cumple con las expectativas de sus clientes, especialmente en términos de tiempos de entrega y precisión en los pedidos. En la logística de

última milla, el SLA se centra en cumplir con la promesa de entrega (plazos y condiciones) de manera precisa y confiable. (Moscoso Duran, Ocampo Velez, Velasquez Contreras, Luna Flechas, & Libreros Maya, 2017)

Fulfillment: en comercio electrónico se refiere a todo el proceso que abarca desde la recepción de un pedido hasta su entrega final. Esto incluye la gestión de inventarios, el procesamiento de pedidos, el empaquetado y la logística de última milla. El fulfillment eficiente es esencial para reducir tiempos de entrega, minimizar costos y aumentar la satisfacción del cliente. (Coordinadora, 2021)

La omnicanalidad: es una estrategia de ventas que integra todos los canales de venta y distribución de una empresa para ofrecer una experiencia de compra coherente y sin interrupciones al cliente, independientemente del canal que elija (tiendas físicas, online, móvil, etc.). En el comercio electrónico, la omnicanalidad implica que los clientes puedan realizar compras en línea, elegir opciones de entrega a domicilio o recoger sus productos en la tienda física más cercana (Golan, 2024)

Estado del Arte

En los últimos años, el crecimiento del comercio electrónico ha generado un interés creciente en la optimización de la última milla, fundamental para asegurar entregas eficientes a los clientes que compran a través de estos canales. La última milla, que representa el tramo final del proceso logístico, se ha convertido en un área de estudio clave debido a los desafíos que presenta, como la congestión urbana, la fragmentación de pedidos y la necesidad de cumplir con expectativas de entrega rápida y precisa. En este contexto, tanto la academia como la industria han desarrollado diversas metodologías y tecnologías, como el uso de algoritmos de

optimización de rutas, vehículos autónomos y centros de distribución urbanos, con el fin de mejorar la eficiencia operativa, reducir costos y mejorar la experiencia del cliente.

Desde el 2005 se ha destacado la importancia de establecer indicadores desde la formulación del plan estratégico, asegurando su implementación en el plan operativo para evaluar logros y corregir falencias. La medición se presenta no solo como una tarea de recopilación de datos, sino como una herramienta clave para la mejora continua de procesos, la toma de decisiones y la búsqueda de la excelencia organizacional (Mora García, 2005)

En 2009 se propuso un nuevo enfoque para abordar el problema de enrutamiento de vehículos con limitaciones de capacidad y flota homogénea (CVRP), a través de un algoritmo metaheurístico estructurado en dos fases: diseño de rutas y planificación de flota. En la primera fase, se emplean procedimientos heurísticos y metaheurísticos para construir una solución inicial, la cual se mejora mediante búsqueda tabú, con el objetivo de obtener soluciones no dominadas en tiempo de cálculo polinomial. La segunda fase se enfoca en la planificación de la flota, utilizando una analogía con el problema de programación de máquinas paralelas idénticas, buscando minimizar el costo fijo asociado al uso de la capacidad instalada. Este enfoque fue evaluado con instancias generadas aleatoriamente y una instancia real, mostrando resultados significativos en comparación con otras heurísticas evaluadas (Daza, Montoya, & Narducci, 2009).

En 2014, con el avance de la tecnología, comenzaron a surgir estudios más detallados en el contexto colombiano. Uno de ellos analiza los comportamientos logísticos en la distribución de última milla de productos alimenticios en Villavicencio, enfocándose en las tendencias de compra y los desafíos derivados de la congestión vehicular y el crecimiento urbano. El estudio

ofrece una visión contextualizada de las particularidades logísticas en ciudades intermedias del país (Adarme Jaimes, Arango Serna, & Cárdenas, 2014).

En 2015 se desarrolló un estudio internacional que analiza la impedancia de las redes de transporte en la entrega de última milla en la ciudad de Maribyrnong, Australia. Utilizando sistemas de información geográfica (GIS), la investigación identifica puntos críticos de congestión en la red vial, proporcionando una metodología útil para estimar las dificultades asociadas al acceso en zonas urbanas densamente pobladas. (Ewedairo, Chhetri, & Dodson, 2015)

En el año 2020, impulsado por el auge de la pandemia de COVID-19, surgieron diversos estudios enfocados en la optimización de la última milla. Entre ellos, se destaca una investigación que aplica la metodología de costeo ABC combinada con simulación de Monte Carlo para la gestión logística en el contexto de la industria 4.0. El estudio, desarrollado a partir de un caso en una empresa cementera de Medellín, analiza la identificación de actividades, recursos e inductores de costo, demostrando cómo la integración de la simulación permite una mejor toma de decisiones al incorporar la incertidumbre en los procesos de costeo (Gómez Montoya, Cano Arenas, & Montoya Bernal, 2020).

Por otro lado, en el ámbito internacional, se presenta un modelo estratégico reconfigurable para la logística de la interfaz terrestre portuaria en Chile. Esta propuesta busca servir como herramienta de apoyo para la planificación de políticas públicas, centrándose en la optimización de la "última milla portuaria" con el objetivo de mejorar la eficiencia operativa y mitigar la congestión en las zonas de influencia de los puertos. (González Ramírez, Ascencio, Vairetti, Dolores Gracia, & Mar Ortiz, 2020).

En 2021, en un contexto donde las industrias buscaban adaptarse a la nueva realidad postpandemia, se desarrolló un estudio que analiza los principales desafíos logísticos surgidos a raíz de la crisis sanitaria global. La investigación aborda temas como la interrupción de las cadenas de suministro y la necesidad de fortalecer la formación de profesionales en el área logística. Asimismo, se resaltan las oportunidades que ofrece la transformación digital como respuesta estratégica para enfrentar estos retos (Sánchez Suárez, Pérez Castañeira, Sangroni Laguardia, Cruz Blanco, & Medina Nogueira, 2021).

También en 2021 se presentó un estudio que propone un modelo conceptual basado en los sistemas de actividad y de transporte para promover el transporte de carga urbana sostenible. La investigación destaca el impacto significativo de este tipo de transporte en las zonas urbanas, así como sus efectos negativos, y plantea la necesidad de desarrollar estrategias sostenibles que consideren tanto a las partes interesadas como los factores geográficos específicos involucrados en su planificación y operación (Ramos Cassiano, Vieira Bertoncini, & de Oliveira, 2021).

En 2022 se identificaron cuatro estudios relevantes que aportan significativamente a la propuesta de mejora de la última milla en la cadena de suministro de Cruz Verde. El primero, se analiza el crecimiento del comercio electrónico y los desafíos que este plantea para la sostenibilidad en la última milla. Se destacan soluciones innovadoras como la incorporación de vehículos eléctricos y hubs urbanos como estrategias clave para reducir el impacto ambiental (Cruz Mejía & Bustamante Delgadillo, 2022). El segundo estudio, se examina cómo la digitalización ha transformado la logística moderna, brindando mayor transparencia, capacidad de anticipación y automatización. A raíz de la pandemia de COVID-19, se aceleró el uso de herramientas digitales y el crecimiento del comercio electrónico, lo que llevó a una reflexión

sobre la necesidad de replantear los modelos logísticos tradicionales, incorporando factores como sostenibilidad, resiliencia y competencias profesionales (Viu Roig & Castillo , 2022).

El tercer estudio, se enfoca en la eficiencia energética del sistema de suministro en la última milla, incorporando la logística inversa. A través de un estudio de caso, se compara el rendimiento de camiones diésel y eléctricos, utilizando un modelo matemático y un algoritmo genético para encontrar soluciones óptimas en términos de sostenibilidad y eficiencia operativa. (Zaher Akkad, Rabee, & Banyai, 2022).

Por último, el cuarto estudio aborda los retos que enfrentan las empresas frente a las disrupciones causadas por la pandemia, especialmente en los procesos de distribución. Se enfatiza el papel estratégico de la última milla en la reactivación económica y se presentan hallazgos obtenidos a partir de visitas y encuestas en una planta de producción de fragancias, lo cual permite un análisis aplicado al contexto empresarial actual. (Corichi Reyes, Guevara Ramírez, Sánchez Tobón, & Anguiano Torres, 2022).

En 2023 se identificaron dos artículos relevantes que abordan la evolución y sostenibilidad de la logística de última milla (LUM) desde una perspectiva bibliográfica. El primero, presenta un análisis de las transformaciones en la LUM entre 2010 y 2022 a partir de una revisión sistemática utilizando la base de datos Web of Science (WOS). El estudio identifica tendencias de investigación impulsadas por la cuarta revolución industrial y la pandemia de COVID-19, destacando el papel creciente de tecnologías como la robótica, la inteligencia artificial y el comercio electrónico en la evolución del sector (Flórez Oviedo & López Hincapié, 2023).

El segundo artículo, aborda la importancia creciente de la última milla en el comercio electrónico y su impacto en la sostenibilidad económica, ambiental y social de las cadenas de suministro en línea. Se destaca que la última milla es crucial para la satisfacción del cliente y para mantener la competitividad en el mercado del comercio electrónico. A pesar de su importancia, la literatura existente sobre el diseño sostenible de la última milla en el comercio electrónico ha estado fragmentada y no ha proporcionado una visión completa de los temas investigados y las metodologías utilizadas. Por lo tanto, el objetivo principal del artículo es realizar una revisión de la literatura y clasificar las publicaciones según el método de investigación adoptado, con el fin de proporcionar una visión clara de los temas tratados y las áreas de investigación futura en relación con la última milla sostenible en el comercio electrónico. (Gonzalez Romero & Prado Prado , 2023).

En los artículos más recientes del 2024, encontramos que el primero explora el uso de técnicas de aprendizaje automático para optimizar problemas NP-hard, con un enfoque particular en el Last-Mile Routing Research Challenge (LMRRC), patrocinado por Amazon y MIT. Los autores proponen la implementación de matrices de costos personalizadas que incorporan modelos de distancia y tiempo, junto con técnicas algorítmicas avanzadas que combinan métodos exactos y aproximados para la secuenciación de paradas. Los enfoques propuestos demostraron ser competitivos en escenarios de EE. UU. y se mostraron aplicables a casos reales en Montevideo (Uruguay), lo que resalta su adaptabilidad a diferentes contextos geográficos y su potencial para optimizar la logística de última milla. (Hernandez, Sotelo, & Forets, 2024).

En el segundo artículo relevante de 2024 presenta una revisión sistemática sobre la Distribución Urbana de Mercancías (DUM) en la logística de última milla. Utilizando la

metodología PRISMA y un análisis bibliométrico, la investigación se centró en las bases de datos Web of Science y Scopus. Los autores identificaron un creciente interés en este tema y una adopción significativa de enfoques tecnológicos en el sector. El análisis reveló una diversidad de indicadores de desempeño evaluados en los estudios revisados, permitiendo identificar factores clave que influyen en la entrega de mercancías en entornos urbanos. Como resultado, se propuso una taxonomía clasificatoria con diez tipos de indicadores, organizados en subindicadores, que brindan una visión integral de la literatura actual sobre DUM y ofrecen una base sólida para futuras investigaciones y la toma de decisiones en la formulación de políticas de logística urbana (Molina, Gómez, & Serna, 2024)

En resumen, la literatura revisada evidencia la creciente importancia de la optimización de la logística de última milla, especialmente en el contexto del comercio electrónico. Desde la medición de indicadores logísticos hasta el uso de metaheurísticas y modelos matemáticos, los avances en este campo buscan mejorar la eficiencia energética, reducir la congestión en entornos urbanos y fomentar la sostenibilidad. Estudios recientes destacan el impacto de la digitalización y la automatización, así como la necesidad de incorporar tecnologías emergentes para enfrentar los desafíos logísticos en la postpandemia. Esta investigación refuerza la relevancia de optimizar la última milla no solo como un componente crucial para la competitividad de las empresas de venta digital, sino también como un factor clave para la sostenibilidad y la satisfacción del cliente. De esta manera, se avala la importancia de seguir implementando estrategias innovadoras para mejorar la eficiencia en este ámbito, contribuyendo al éxito a largo plazo de las empresas en el ecosistema digital.

Metodología Desarrollada

El desarrollo de este proyecto se basó en un enfoque metodológico que combina la recolección de información cuantitativa y cualitativa para lograr una visión completa de la operación logística de última milla de Cruz Verde en la ciudad de Bogotá. La metodología fue estructurada para identificar los principales factores que afectan la eficiencia y el costo en la entrega de productos al cliente final, en especial en el contexto del e-commerce de productos farmacéuticos.

Los pasos iniciales del trabajo se centraron en una revisión bibliográfica de la literatura sobre logística de última milla y las prácticas de optimización de rutas aplicadas en sectores similares. Esta revisión incluyó estudios de casos y teorías sobre el uso de tecnologías avanzadas y estrategias de reducción de costos, proporcionando una base conceptual sólida y prácticas de referencia que orientaron el análisis de las operaciones actuales de Cruz Verde.

Posteriormente, se procedió con la recolección de datos específicos de la empresa, para lo cual se obtuvieron datos cuantitativos sobre ventas, tiempos de entrega y costos operativos asociados con la última milla. Debido a las políticas internas de Cruz Verde la base de datos no puede ser publicada dentro de la presentación del proyecto, sin embargo, los datos de ventas permitieron identificar patrones en el comportamiento de los clientes, como la cantidad de pedidos para entrega el mismo día o al día siguiente y las variaciones estacionales en la demanda. Además, se recopilaron datos relacionados con los costos promedio de cada entrega, brindando una visión del gasto actual y permitiendo detectar posibles ineficiencias.

Para complementar este análisis cuantitativo, se llevó a cabo una encuesta estructurada dirigida al personal operativo involucrado en la logística de última milla en Bogotá (ver Anexo 1). Las encuestas se diseñaron para capturar la perspectiva de los empleados sobre las dificultades prácticas que enfrentan en el proceso de entrega, incluyendo los factores que afectan los tiempos de entrega, la percepción de la eficiencia de los recursos, y los desafíos en la coordinación con los proveedores logísticos externos. Esta información cualitativa enriqueció el análisis, al proporcionar detalles contextuales que los datos numéricos no abarcaban.

Finalmente, a partir de los datos recolectados y el análisis del comportamiento de entrega y los costos de operación, se identificaron oportunidades clave de mejora en la logística de última milla. Estas oportunidades incluyeron la posibilidad de ajustar las rutas de entrega y optimizar los tiempos de entrega según la urgencia percibida por el cliente, lo que permitió avanzar en el diseño de una propuesta de optimización.

Tipo de Investigación y Enfoque

El proyecto se clasifica como un estudio aplicado de tipo descriptivo y correlacional, con un enfoque mixto (cuantitativo y cualitativo), diseñado para proporcionar una visión profunda de la logística de última milla en Cruz Verde. Esta investigación se centra en resolver problemas específicos de la empresa en el contexto de su operación de última milla en Bogotá, con el objetivo de obtener conclusiones prácticas y directamente implementables.

El enfoque descriptivo busca examinar y caracterizar el estado actual de la logística de última milla en Cruz Verde, detallando aspectos como la infraestructura logística utilizada, los recursos empleados en el proceso de entrega, los costos y tiempos de entrega promedios, y las variables que impactan la eficiencia de las operaciones, como la congestión urbana y la

coordinación con proveedores de logística externa (3PL). El objetivo es capturar el contexto operacional y financiero de las entregas a domicilio, sirviendo de base para el análisis y las propuestas de mejora.

La investigación utiliza un enfoque mixto que combina métodos cuantitativos y cualitativos, proporcionando una visión integral del problema logístico. El análisis cuantitativo se enfoca en identificar patrones y tendencias, como la frecuencia de pedidos urgentes, los costos promedio por tipo de entrega, el porcentaje de gasto en domicilios respecto a las ventas de e-commerce, y los tiempos de entrega en diferentes zonas de Bogotá. Además, se evalúa cómo estos factores se relacionan con la satisfacción del cliente y el costo del servicio. Por su parte, el enfoque cualitativo agrega una dimensión humana y contextual, capturando insights que no serían evidentes únicamente a través de los datos numéricos.

Instrumentos y Técnicas

Revisión Documental

La revisión documental fue una fase inicial y esencial para establecer una base teórica y metodológica sólida. Esta revisión incluyó el estudio de artículos académicos, informes industriales y casos de estudio relevantes sobre optimización de rutas y estrategias logísticas en última milla.

La investigación abarcó temas clave como:

Modelos de enrutamiento de vehículos y metaheurísticas: Se analizaron metodologías de optimización, incluyendo algoritmos específicos para la última milla, que permiten mejorar las rutas de entrega y reducir costos.

Prácticas de terceros proveedores logísticos (3PL): Dado que Cruz Verde subcontrata parte de su operación logística, se revisaron estudios sobre las mejores prácticas y los retos en la gestión de proveedores externos para comprender cómo impacta en el costo, el control de calidad y los tiempos de entrega.

Tecnologías de trazabilidad y seguimiento en tiempo real: Se investigaron sistemas de información y tecnologías de seguimiento que podrían integrarse para mejorar la visibilidad y control de las operaciones logísticas de Cruz Verde. Esta revisión documental proporcionó el marco conceptual para definir un modelo adecuado de enrutamiento y logística que pudiera adaptarse a las condiciones específicas de Cruz Verde en Bogotá, sirviendo también como respaldo teórico para el desarrollo de la hipótesis y la estrategia de optimización.

Encuesta Estructurada

La encuesta estructurada fue diseñada para el personal operativo de Cruz Verde involucrado en la logística de última milla, con el objetivo de capturar su experiencia y percepción sobre el proceso. (ver Anexo 1)

Las preguntas de la encuesta se centraron en:

Percepción sobre tiempos de entrega: Factores que afectan los tiempos de entrega, como la congestión vehicular, la coordinación con proveedores externos y la accesibilidad de áreas en Bogotá.

Principales problemas en la gestión de domicilios: Dificultades operativas como demoras en la asignación de pedidos, problemas con la tecnología de seguimiento o falta de recursos en horarios de alta demanda.

Satisfacción con los recursos y herramientas actuales: Eficacia de los sistemas logísticos y posibles áreas de mejora para optimizar el proceso.

Estas encuestas cualitativas ofrecieron una visión detallada sobre los desafíos cotidianos del personal, permitiendo identificar áreas de oportunidad y prácticas que podrían mejorarse para lograr una mayor eficiencia operativa.

Análisis de Datos Históricos

Para complementar la información cualitativa de las encuestas, se realizó un análisis cuantitativo de datos históricos de ventas y entregas de Cruz Verde.

Este análisis incluyó:

Cantidad de pedidos con solicitud de entrega el mismo día vs. al día siguiente: Se calculó el porcentaje de pedidos entregados el mismo día en comparación con los entregados al día siguiente en Bogotá durante los meses de enero a abril de 2024. El resultado mostró que, en promedio, el 11% de los clientes solicitaban entregas al día siguiente, lo que permitió comprender mejor las expectativas de los clientes y las capacidades actuales de la empresa.

Relación gasto/venta en e-commerce: Este análisis permitió identificar que el gasto de Cruz Verde en logística de última milla representa aproximadamente el 10.5% de las ventas online para el corte de abril de 2024 en Bogotá, brindando una medida clara del costo logístico frente al ingreso generado. Este análisis de datos permitió obtener métricas clave para el diagnóstico de la situación actual de Cruz Verde, revelando patrones y tendencias en el comportamiento de entrega, y ofreciendo una base cuantitativa para justificar y priorizar las mejoras operativas que se propondrán.

Etapas de Desarrollo

Etapa 1: Revisión Bibliográfica

La primera etapa del proyecto se centró en la construcción de un marco teórico sólido, a partir de una revisión sistemática de literatura científica, técnica y contextual relacionada con la logística de última milla. Esta fase fue fundamental para identificar los principales retos del sector, las soluciones implementadas en otros contextos, tendencias tecnológicas emergentes y enfoques metodológicos relevantes que pudieran adaptarse a la realidad operativa de Cruz Verde en Bogotá. Dentro de las consultas bibliográficas estudiadas y que aportaban ideas para trabajar en mejoras específicamente de la última milla en Bogotá siendo viables de adaptar, están los artículos *Cost Modelling and Simulation of Last-mile Characteristics in an Innovative B2C Supply Chain Environment with Implications on* (Gevaersa, Van de Voorde, & Vanel, 2014), *A GIS Methodology for Estimating the Transport Network Impedance to Last-Mile Delivery* (Ewedairo, Chhetri, & Dodson, 2015). *Indicadores de Gestión Logística (KPI)* (Mora García, 2005) y *Retos actuales de la logística y la cadena de suministro* (Sánchez Suárez, Pérez Castañeira, Sangroni Laguardia, Cruz Blanco, & Medina Nogueira, 2021). Como resultado, fue posible comprender el estado actual del conocimiento en torno a la última milla, identificar herramientas y modelos aplicables para optimizar los procesos de entrega, detectar vacíos de conocimiento o áreas poco exploradas con potencial para la empresa, y contextualizar la problemática logística considerando tanto experiencias nacionales como internacionales. Durante este análisis, se concluyó que los modelos basados en algoritmos metaheurísticos estudiados en el artículo *Resolución del problema de enrutamiento de vehículos con limitaciones de capacidad utilizando un procedimiento metaheurístico*, (Daza, Montoya, & Narducci, 2009) no eran la alternativa más adecuada para implementar en Cruz Verde, debido a la complejidad

técnica de su desarrollo, la falta de herramientas especializadas y la ausencia de personal capacitado para su correcta ejecución. Además, las condiciones particulares de Bogotá como el tráfico impredecible, las restricciones de movilidad (pico y placa), vías cerradas y direcciones poco estandarizadas afectan la precisión y viabilidad práctica de este tipo de modelos, lo cual representa un factor desfavorable para justificar la inversión. Al igual que lo estudiado en el artículo *A Conceptual Model Based on the Activity System and Transportation System for Sustainable Urban Freight Transport*. (Ramos Cassiano, Vieira Bertoncini, & de Oliveira, 2021), tampoco fue considerado viable para Cruz Verde, debido a que dentro de los proveedores de 3PL que subcontrata la compañía no cuentan con medios de transporte de mercancías que sean ambientalmente sostenibles como lo son bicicletas o motos eléctricas.

No obstante, los conocimientos adquiridos en la revisión permitieron diseñar una solución más viable, enfocada en el enrutamiento eficiente de pedidos mediante el proveedor 3PL, ajustando la promesa de entrega a un horario flexible. Esta estrategia buscó reducir costos operativos, mejorar la satisfacción del cliente y adaptarse mejor a las restricciones logísticas de la ciudad, sin comprometer la calidad del servicio.

Etapa 2: Recolección de Datos Iniciales

Esta etapa se enfocó en la obtención sistemática de información relevante que permitiera caracterizar con precisión el desempeño actual de la logística de última milla en Cruz Verde. A partir del marco conceptual definido en la etapa anterior, se diseñó una estrategia de recolección de datos alineada con los objetivos de diagnóstico y análisis.

Se implementó una metodología de recolección mixta, que combinó fuentes primarias y secundarias para capturar tanto la dimensión operativa como la percepción del talento humano involucrado en el proceso. Las fuentes incluyeron:

Instrumento estructurado de recolección primaria (ver Anexo 1): Se aplicaron encuestas a tres empleados clave de Cruz Verde involucrados en la operación de domicilios, quienes son: el coordinador de domicilios, el director de domicilios y el subgerente de negocios digitales. A través de estas encuestas las cuales constaban de preguntas de selección múltiple, se formularon preguntas orientadas a: analizar la estructura actual del proceso logístico de la empresa, evaluar la percepción sobre la eficiencia en las entregas a domicilio, identificar los desafíos diarios en la logística de última milla, determinar las tecnologías implementadas en el proceso de última milla, visualizar el uso y distribución del gasto en este proceso y recabar la percepción del cliente final respecto a la calidad de las entregas realizadas por Cruz Verde.

Extracción de datos históricos de operación: Se accedió a registros operativos y financieros de la compañía correspondientes al primer cuatrimestre de 2024. Estos datos permitieron calcular indicadores clave, como lo son: Distribución porcentual de entregas el mismo día vs. al día siguiente, costos promedio por entrega, relación gasto/logística sobre las ventas de e-commerce. Y tiempos de entrega en la ciudad de Bogotá.

Este análisis combinado sirvió como base para identificar patrones, brechas de eficiencia y posibles puntos de intervención en las siguientes etapas del estudio, donde se desarrollarán propuestas de mejora y análisis de optimización logística.

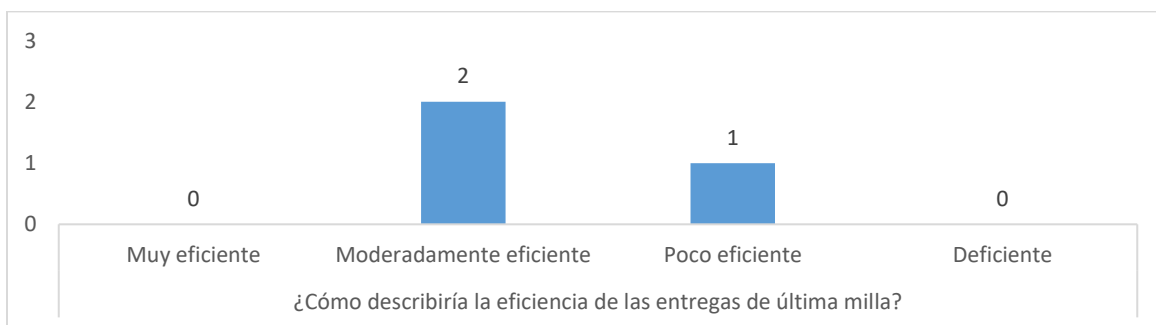
Etapa 3: Análisis de Datos y Diagnóstico

Frente a las respuestas recibidas por el personal evaluado, se pudo identificar lo siguiente:

Como se evidencia en la Figura 1, los empleados encuestados resaltan que actualmente las entregas de Cruz Verde no son lo suficientemente eficientes, el 66% lo califica como moderadamente eficiente y el 34% poco eficiente

Figura 1

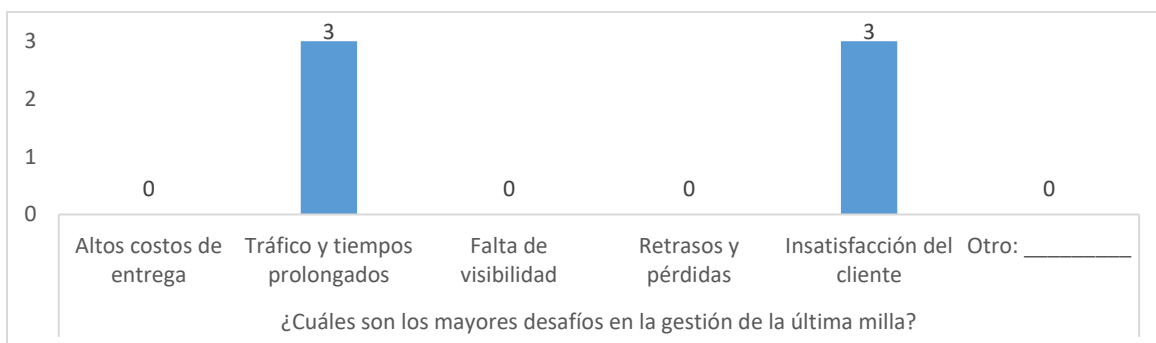
Respuesta a la pregunta 1 del cuestionario



En la pregunta número dos de selección múltiple, el 100% de los encuestados identificaron los tiempos de entrega prolongados y la insatisfacción del cliente como los dos desafíos más importantes que la última milla debe trabajar, esto se representa en la figura 2.

Figura 2

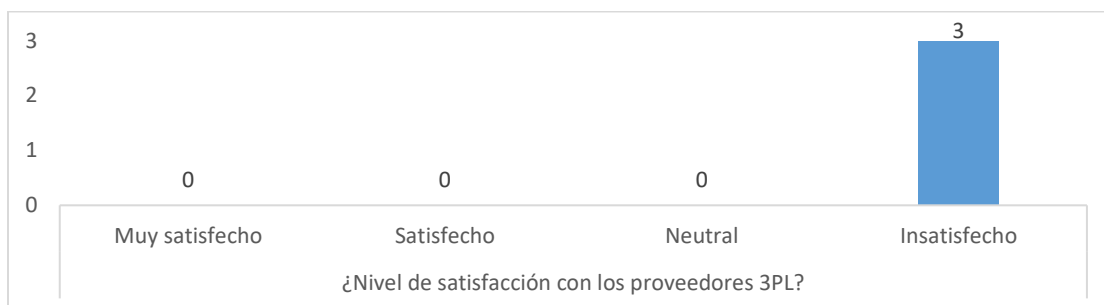
Respuesta a la pregunta 2 del cuestionario



En la pregunta número 3 de selección única, el 100% de los encuestados esta insatisfecho con la gestión de los proveedores 3PL como se ve en la figura 3.

Figura 3

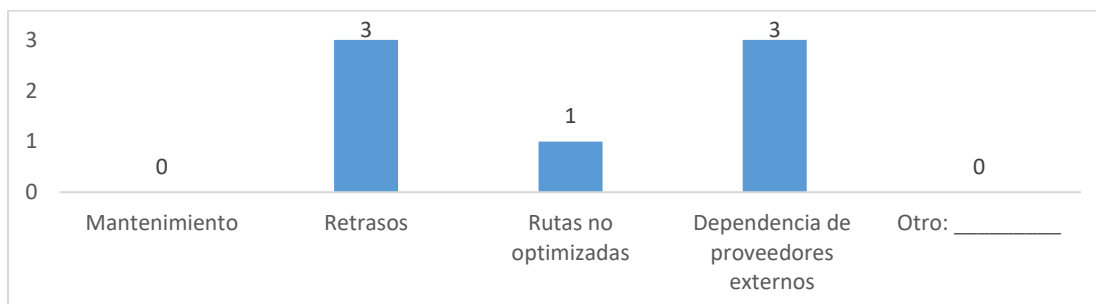
Respuesta a la pregunta 3 del cuestionario



Para la pregunta 4 de la encuesta de selección múltiple, se plasma en la figura 4 que, el 100% de los encuestados identifican que los costos de última milla están afectados por los retrasos en los domicilios y la dependencia de proveedores externos, mientras que el 34% identifica que las rutas no optimizadas también pueden aumentar costos.

Figura 4

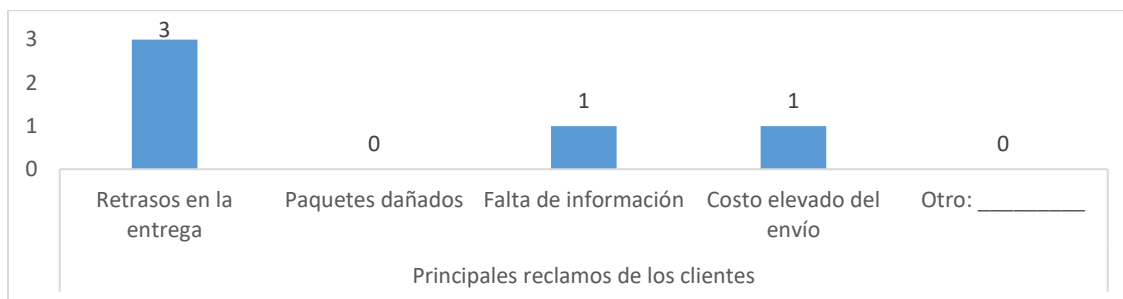
Respuesta a la pregunta 4 del cuestionario



Para la pregunta 5 de la encuesta que es de selección múltiple, dentro de los reclamos de los clientes, como se ve en la figura 5 el 100% de los encuestados han podido identificar que los retrasos en la entrega son por lo que más se quejan, pero el 34% también resalta que la falta de información del envío y el costo del domicilio afectan al cliente.

Figura 5

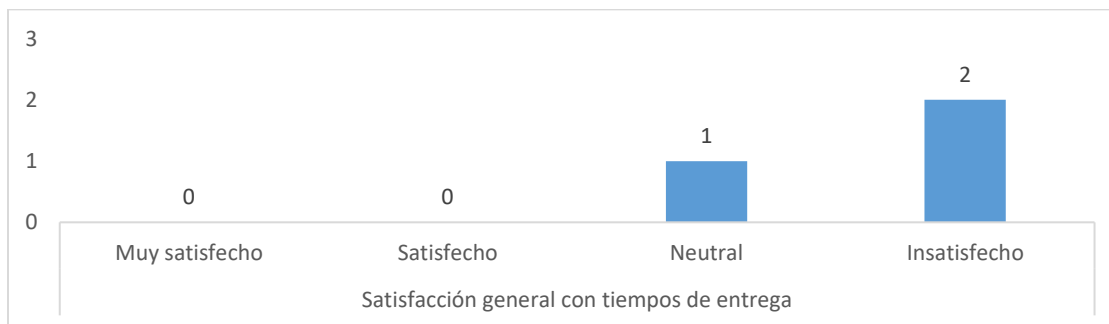
Respuesta a la pregunta 5 del cuestionario



En la figura 6, representamos las respuestas a la pregunta 6 de selección única, dentro de la percepción final que se obtuvo de los encuestados el 66% identifica que hay una total insatisfacción con los tiempos de entrega y el 34% es neutral, por lo que no hay quien identifique un aspecto positivo en este factor.

Figura 6

Respuesta a la pregunta 6 del cuestionario



Posteriormente al análisis de las encuestas a diferentes empleados de cruz verde, se procedió a realizar el análisis de los datos recolectados para identificar patrones de comportamiento en los tiempos de entrega y costos.

En la representación de la figura 7, se identifica que el tiempo de entrega promedio para la ciudad de Bogotá es de 75 Min y en la figura 8 vemos que el cumplimiento de SLA está en un

87% para los 4 primeros meses del 2024 para los pedidos que deben ser entregados el mismo día.

Lo cual refuerza la oportunidad de mejora para las entregas “express”.

Figura 7

Promedio tiempos de entrega Bogotá enero a abril 2024

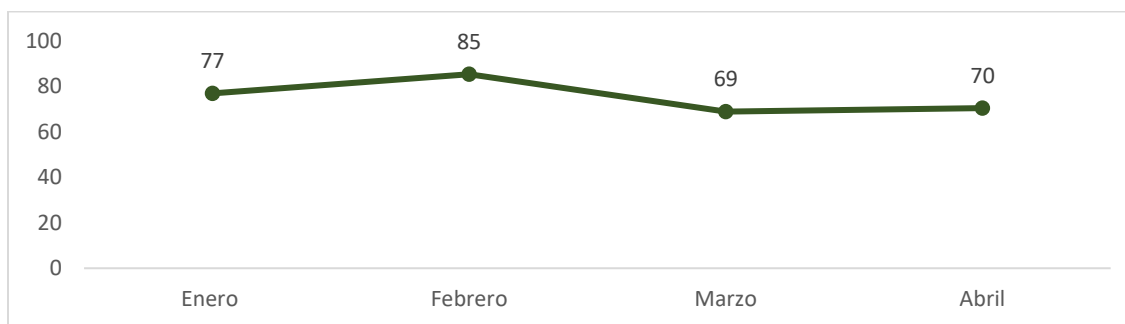
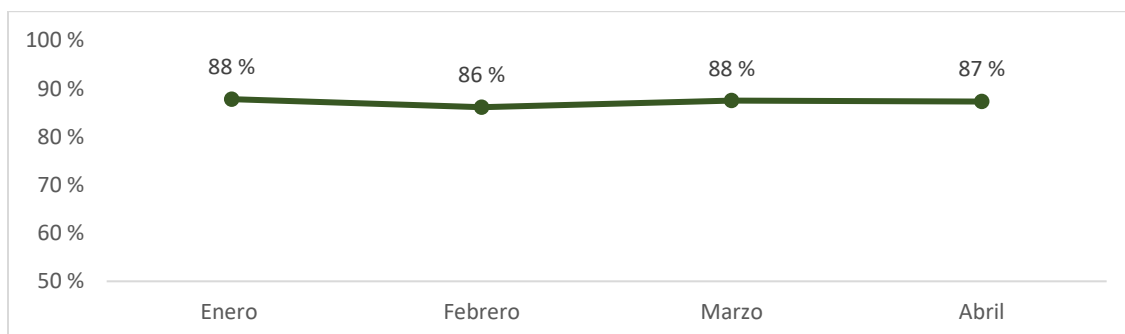


Figura 8

Porcentaje cumplimiento SLA Bogotá de enero a abril 2024

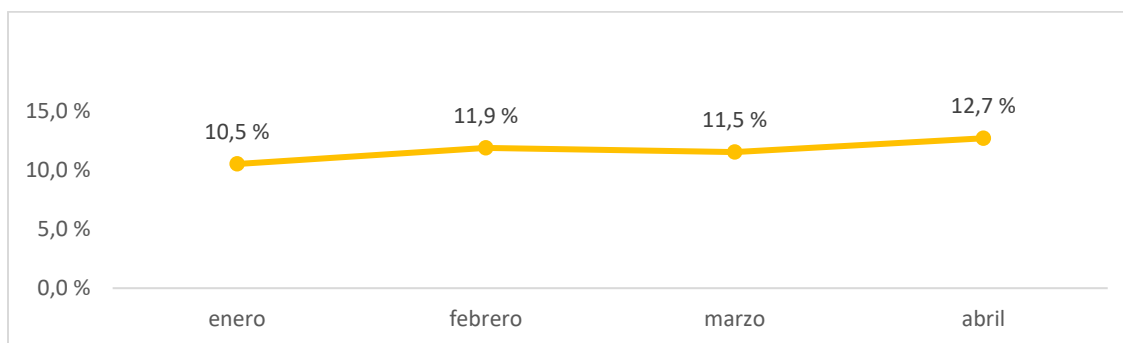


A su vez se analizaron los volúmenes de pedidos “sameday” y “nextday” como los identifica Cruz Verde, en la ciudad de Bogotá para entender cómo se distribuyen los pedidos ambas categorías, lo cual ayudó a comprender las expectativas de los clientes y los costos que implica cumplirlas.

Como se identifica en la figura 9, en los primeros 4 meses del 2024 el peso de los pedidos nextday es del 11% promedio

Figura 9

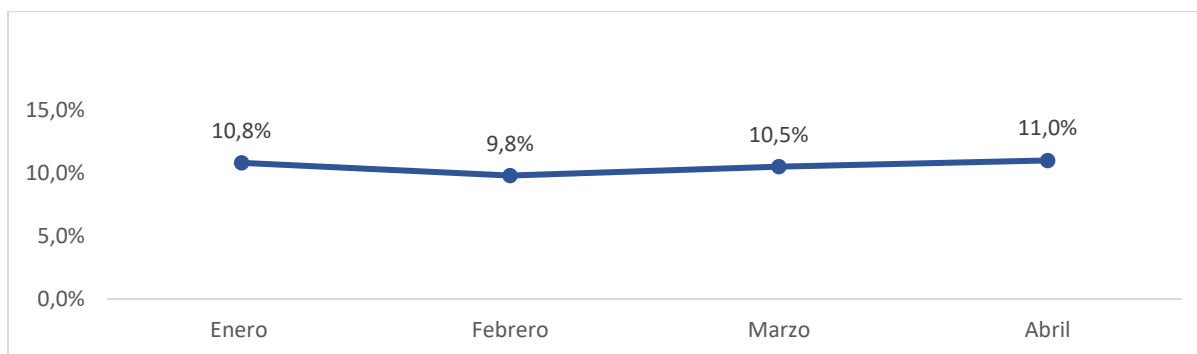
Porcentaje de penetración pedidos nextday en Bogotá de enero a abril 2024



En cuanto al indicador gasto/venta para la última milla en Bogotá, se verificó que durante los primeros cuatro meses de 2024 se sitúa en un 10,5%, como se evidencia en la figura 10. Este dato constituye un punto de partida para identificar, en el futuro, oportunidades de eficiencia operativa que optimicen las entregas sin aumentar, o incluso reduciendo, el impacto del gasto/venta.

Figura 10

Porcentaje gasto/venta domicilios Bogotá de enero a abril 2024



Con base en los datos de costos y tiempos, se identificaron puntos críticos en el proceso de entrega, como la falta de optimización en las rutas y los desafíos logísticos generados por la alta densidad de tráfico en Bogotá. Estos resultados permitieron comprender detalladamente los factores que inciden en el costo y la eficiencia del servicio, lo que llevó a proponer la implementación de una tarifa diferencial para domicilios. Según esta propuesta, los pedidos con entrega el mismo día se gestionarían de forma individual, mientras que aquellos programados para el día siguiente podrían agruparse en rutas optimizadas. La observación de que la urgencia de entrega varía entre los clientes respalda la viabilidad de esta estrategia de enrutamiento, orientada a maximizar la eficiencia operativa sin afectar negativamente el gasto/venta.

Etapa 4: Desarrollo de Estrategia de Optimización

La propuesta consiste en establecer una tarifa diferencial en el costo de domicilio, dependiendo de si el cliente requiere la entrega el mismo día (sameday) o si puede esperar hasta el día siguiente (nextday). Con ello se busca incentivar el uso del servicio nextday, lo que permite gestionar un modelo de enrutamiento más eficiente, ya que estos pedidos no requieren la misma urgencia. De esta manera, un domiciliario puede cubrir no solo un pedido, sino una ruta completa de entregas estratégicamente agrupadas. Esto genera oportunidades para optimizar tiempos y recursos, además de liberar capacidad operativa, permitiendo que más domiciliarios se enfoquen en los pedidos urgentes y se cumpla la promesa de entrega al cliente final.

Lo primero que se hizo fue realizar la diferenciación del costo de domicilio en la página web de Cruz Verde como se ve en la figura 11, en la que si el cliente requiere el domicilio para el mismo día se cobra \$3.500 por el envío mientras que si lo requiere para el día siguiente se cobra solamente \$1.500 en la ciudad de Bogotá.

Figura 11

Imagen de cómo se relacionó el cobro diferencial en la página web



Nota. Adaptado de método de pago [Imagen], por Cruz Verde, 2024, Cruz Verde (<https://www.cruzverde.com.co/delivery-method>).

A la par de esta implementación se procedió a negociar con un proveedor de 3PL el cobro de una tarifa más baja para los pedidos enrutados, teniendo en cuenta que estos no tienen la misma exigencia de los pedidos para entrega el mismo día; así se logran mantener los costos sin afectar la promesa de entrega, nivelando la disminución de la tarifa al cliente con la disminución del pago por servicio enrutado. Adicionalmente, se le habilita la opción al proveedor para que realice planificación de rutas para los pedidos nextday, agrupándolos de forma estratégica según su ubicación geográfica, lo que reduce los desplazamientos innecesarios y optimiza el uso de los recursos logísticos disponibles.

El cambio se implementó en mayo de 2024, marcando el inicio de la medición del impacto de la diferenciación en el cobro. Tras la implementación, se observó un aumento del 1% aproximadamente en el indicador de pedidos para entrega al día siguiente en dicho mes. Con

base en los datos de demanda y la urgencia de entrega, se desarrolló un modelo en colaboración con el proveedor 3PL, que organiza las rutas de manera diferenciada según la prioridad del pedido y la ubicación del cliente. Los pedidos urgentes se gestionan a demanda, mientras que aquellos que no requieren entrega inmediata se agrupan en rutas optimizadas. Asimismo, se estableció una ventana horaria de 10:00 a.m. a 6:00 p.m. para los pedidos agrupados, lo que garantiza un margen suficiente para planificar las rutas, considerando las dificultades de movilidad en la capital y sin comprometer la promesa de entrega al cliente.

Diseño de Instrumentos Para la Recolección de Información

Para la validación de la propuesta de optimización de rutas en la logística de última milla de Cruz Verde, se emplearon dos fuentes de información secundaria. Estas bases permitieron obtener datos cuantitativos clave que sustentan el análisis del impacto generado por la implementación de una estrategia de cobro diferencial para entregas sameday o nextday y el enrutamiento de los pedidos. La finalidad fue determinar si dicha estrategia contribuye a mejorar la eficiencia operativa, reducir los costos asociados a las entregas y optimizar el cumplimiento de la promesa de servicio.

La primera fuente de información corresponde a la base de datos operativa proporcionada por el proveedor logístico externo (3PL), (por derecho de propiedad intelectual de la empresa Cruz Verde, no se genera anexo de esta información) encargado de ejecutar las entregas a domicilio. Esta plataforma tecnológica permite la descarga detallada de registros de los pedidos, incluyendo información sobre la marcación de tiempos en cada etapa del proceso logístico. A través de este instrumento fue posible obtener datos precisos sobre los tiempos reales de entrega, desde que se invoca a un motorizado hasta la entrega final al cliente. Esta base de datos también

permite identificar variables como la hora de inicio y fin del servicio, la fecha de entrega y el costo del domicilio que el proveedor le cobró a Cruz Verde, lo que brinda una comprensión más completa del comportamiento logístico en un entorno urbano como el de Bogotá. Con estos datos, se pudo calcular el tiempo promedio de entrega y medir el nivel de cumplimiento de la promesa de servicio, tanto para los pedidos express como para los enrutados, lo cual es esencial para evaluar la percepción del cliente sobre la calidad del servicio recibido.

La segunda fuente de información utilizada fue la base de datos interna de ventas de Cruz Verde, la cual contiene el historial de pedidos realizados a través del canal de comercio electrónico (por derecho de propiedad intelectual de la empresa Cruz Verde, no se genera anexo de esta información). Este instrumento permitió identificar el tipo de servicio elegido por el cliente, es decir, si el pedido correspondía a una entrega para el mismo día (sameday) o para el día siguiente (nextday) y el valor de la venta por servicio. A partir de estos datos se pudo calcular el porcentaje de pedidos clasificados como nextday y analizar si este indicador mostraba un crecimiento progresivo como resultado de la aplicación del cobro diferencial, lo cual permitiría organizar de forma más eficiente las rutas de entrega. Asimismo, esta información facilitó el cálculo del indicador de gasto logístico sobre la venta, lo que permitió determinar si la estrategia propuesta tenía un impacto positivo sobre la eficiencia financiera de la operación.

La integración de ambas fuentes de datos –la operativa (3PL) y la comercial (ventas)– constituyó un sistema robusto y confiable de recolección de información, que permitió observar la operación logística, evaluar el impacto de las decisiones tomadas, y medir indicadores clave relacionados con eficiencia, cumplimiento y costos. Estos instrumentos resultaron fundamentales

para validar de manera objetiva y técnica la viabilidad y funcionalidad de la propuesta de optimización de rutas en la última milla.

Técnicas Para el Procesamiento de Datos y Validación de Resultados

Una vez definidos y aplicados los instrumentos de recolección de información, se procedió al tratamiento y análisis de los datos mediante herramientas tecnológicas que permitieran consolidar, depurar y estructurar la información de forma eficiente. Para ello, se utilizó Power Query, funcionalidad integrada en Microsoft Excel, como herramienta principal de procesamiento. Esta elección respondió a su facilidad de uso para realizar cruces entre diferentes fuentes de datos, sin requerir conocimientos técnicos avanzados. Además, la combinación de Excel y Power Query ofrece ventajas adicionales que reforzaron la decisión: su amplia disponibilidad en la mayoría de entornos corporativos y educativos; la curva de aprendizaje baja gracias a la familiaridad de muchos usuarios con Excel; la integración nativa con otras aplicaciones de Microsoft (Outlook, Teams, SharePoint); la automatización de tareas repetitivas y la trazabilidad de cada transformación aplicada; la actualización dinámica de datos al cambiar la fuente; la capacidad de combinar y transformar información proveniente de múltiples formatos (bases de datos, CSV, web, etc.); el control de versiones cuando se trabaja en SharePoint u OneDrive; la portabilidad de los archivos; y el respaldo de una comunidad de usuarios extensa y activa, con abundantes recursos de soporte. Aunque existen soluciones como Power BI, su uso fue descartado debido a los costos adicionales por licencias al manejar grandes volúmenes de información y a la necesidad de compartir visualizaciones mediante enlaces URL, lo cual no se ajusta a las políticas de uso de la información establecidas en Cruz Verde. Considerando estos aspectos, así como los conocimientos disponibles y la necesidad de garantizar la

confidencialidad y confiabilidad de los datos, Excel con Power Query se identificó como la opción más adecuada para este análisis.

El proceso comenzó con la descarga de dos fuentes de datos mencionadas anteriormente; la base de datos operativa del proveedor 3PL, que contenía registros detallados sobre los tiempos de entrega en cada etapa del proceso logístico y la base de datos interna de Cruz Verde, que almacenaba la información de las ventas realizadas a través del canal de e-commerce, incluyendo variables como el tipo de servicio contratado (entrega sameday o nextday), la fecha de promesa de entrega, entre otros datos relevantes para la segmentación y análisis de pedidos. Mediante Power Query, se desarrolló un proceso estructurado de integración y transformación de ambas fuentes de datos. El tratamiento se realizó en las siguientes etapas

Depuración de la base operativa del proveedor 3PL: Se eliminaron registros duplicados para evitar distorsiones en el análisis de tiempos, se filtraron únicamente los pedidos finalizados, es decir, aquellos cuya última etapa del proceso logístico ya había sido completada, lo cual permite calcular con precisión el tiempo total de entrega y se restringió la muestra a pedidos entregados en la ciudad de Bogotá, que fue el ámbito geográfico específico del estudio.

Depuración de la base de datos de Cruz Verde (ventas e-commerce): Se eliminaron también registros duplicados que pudieran generar inconsistencias o sobrecontar pedidos, se filtraron los pedidos cuya plataforma de origen fuera exclusivamente e-commerce, excluyendo así otros canales de venta como call center, tiendas físicas, etc y se seleccionaron únicamente los pedidos con estado de "entregado", para asegurar que los datos correspondieran a transacciones completas. Por último, se acotó el análisis a pedidos con destino en Bogotá, para mantener la coherencia geográfica con la base del proveedor logístico.

Una vez depurados ambos archivos se unificaron los formatos de fecha y hora (por ejemplo, conversión de campos de texto a tipo fecha-hora con zona horaria local), se normalizaron los códigos de pedido, asegurando consistencia en su estructura (uso de mayúsculas, eliminación de espacios o caracteres especiales, etc.) y se crearon claves únicas de enlace, compuestas por identificadores comunes como el número de pedido, que permitieron vincular de manera precisa ambas bases.

Como resultado, se construyó un modelo de datos integrado, depurado y estandarizado, que sirvió de base para los análisis posteriores, asegurando trazabilidad, calidad y consistencia en los resultados. Con esta consolidación, fue posible calcular indicadores clave de desempeño (KPIs) fundamentales para la evaluación de la propuesta de optimización. Entre estos KPIs se incluyeron: el tiempo promedio de entrega, cuya meta se estableció en 60 minutos; el cumplimiento del nivel de servicio (SLA), fijado en un 90%; el indicador de gasto sobre la venta, que debía mantenerse por debajo del 10,5%; y el porcentaje de pedidos nextday, con un objetivo de crecimiento superior al 11%. Estos indicadores no solo permitieron el seguimiento operativo del modelo propuesto, sino que también ofrecieron una visión integral sobre su impacto financiero y logístico.

Además, con base en estos KPIs calculados a partir del modelo consolidado en Power Query, se realizó un análisis comparativo entre el comportamiento previo y posterior a la implementación del modelo de optimización. Este análisis permitió identificar variaciones significativas en las métricas clave, que como se menciona anteriormente fueron seleccionadas al identificar la problemática de tiempos de entrega prolongados, altos costos logísticos y baja satisfacción del cliente, razón por la cual al implementar el modelo e identificar si estas

problemáticas mejoraban se podría validar la efectividad de la estrategia diferenciada de tarifas y rutas, y sustentar con evidencia cuantitativa el impacto sobre la operación logística de Cruz Verde en la ciudad de Bogotá. Las gráficas presentadas en la sección de Presentación de Resultados fueron construidas con base en este análisis, facilitando la visualización de tendencias y hallazgos relevantes. El uso de Power Query resultó clave no solo por su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos, sino también por la posibilidad de automatizar el procesamiento y mantener la trazabilidad de los resultados a lo largo del tiempo. Esta metodología garantizó un enfoque de análisis rigurosamente estructurado, replicable y basado en evidencia, fortaleciendo así la evaluación objetiva de la propuesta de optimización en la logística de última milla.

Presentación de Resultados

La evaluación del modelo se llevó a cabo en el mes de noviembre de 2024 y arrojó resultados positivos en varios frentes. El aumento en la disponibilidad de motorizados destinados a entregas urgentes permitió reducir el tiempo promedio de entrega de 75 a 62 minutos como se ve en la figura 12, mientras que el cumplimiento del nivel de servicio (SLA) para los pedidos sameday se incrementó hasta alcanzar un 91% como lo podemos identificar en la figura 13. Por otro lado, en la figura 14 se evidencia que el volumen de pedidos programados para entrega al día siguiente mostró un crecimiento significativo pasando de un 11% a un 18%, lo cual facilitó una mayor proporción de entregas enrutadas. Esta dinámica contribuyó a estabilizar el indicador de gasto sobre venta, ya que la disminución en el costo que el proveedor cobra por pedidos enrutados compensó el diferencial de tarifa ofrecido al cliente final como se identifica en la figura 15. En conjunto, este modelo no solo optimizó la eficiencia operativa de la última milla, sino que también fortaleció la posición de Cruz Verde como un referente competitivo en el mercado farmacéutico digital, mejorando la experiencia del cliente y promoviendo una operación más sostenible.

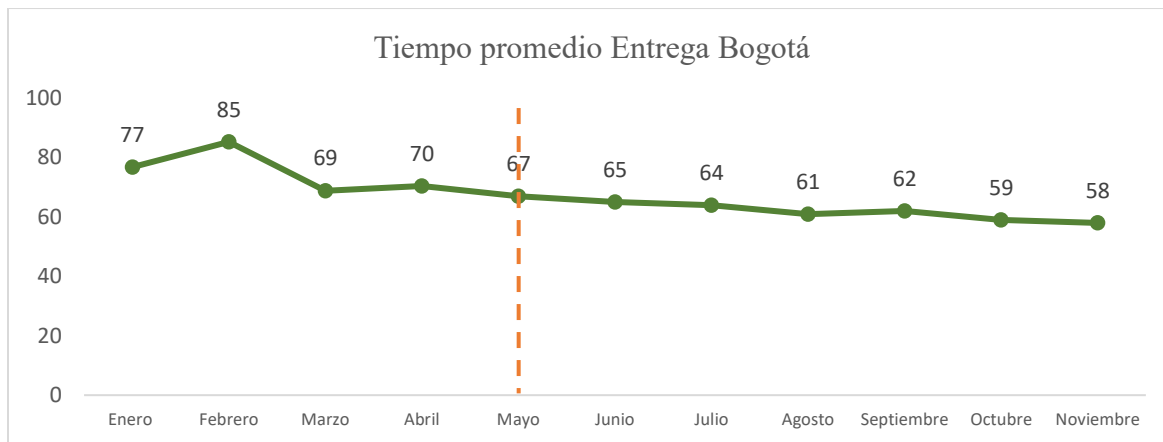
Desglosando los resultados, se puede identificar en cada uno de los indicadores:

El tiempo promedio de entrega para los pedidos sameday en Bogotá se redujo en 13 minutos, y el SLA mejoró en un 3%, lo que representa un avance significativo para la operación.

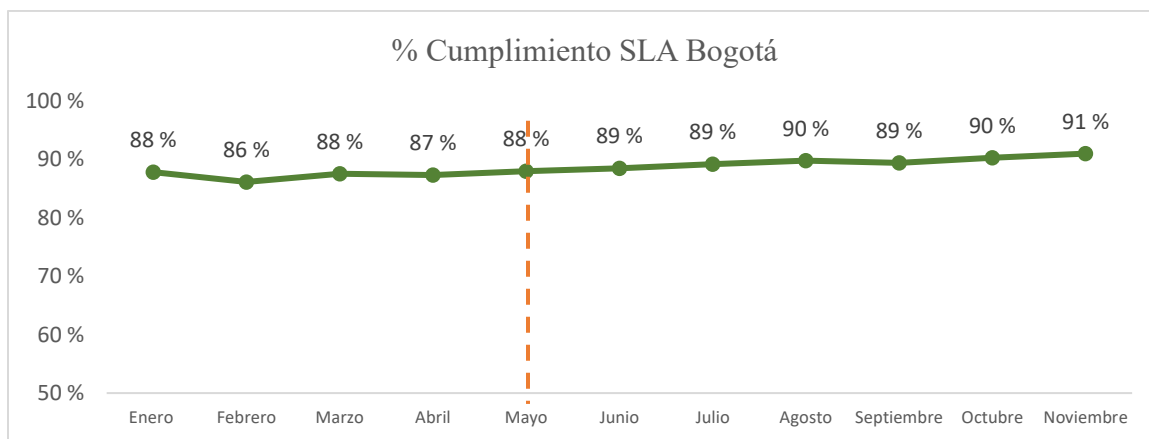
Estos resultados reflejan una respuesta más ágil a las solicitudes urgentes de los clientes, contribuyendo directamente al objetivo del proyecto de mejorar la satisfacción del cliente.

Figura 12

Comparativo de tiempos promedio de entrega en Bogotá antes y después de la implementación del modelo

**Figura 13**

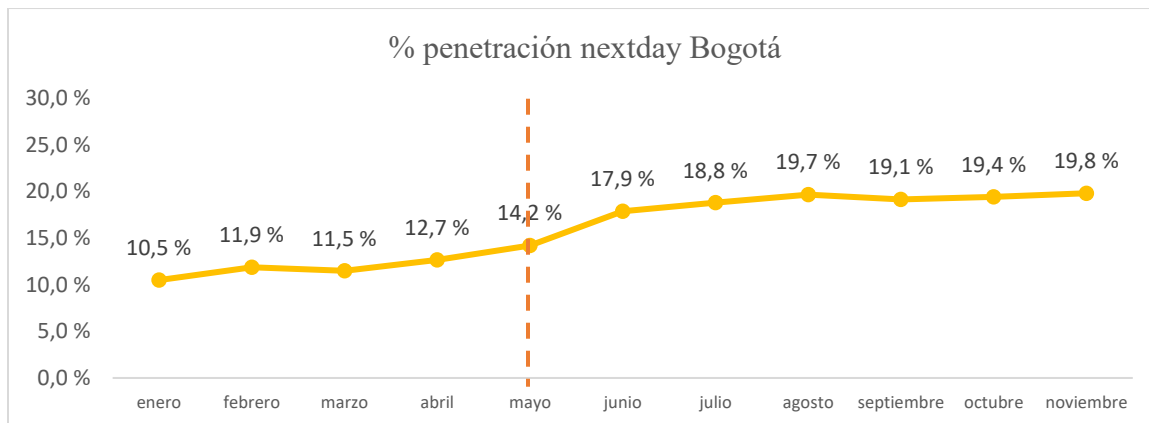
Comparativo de cumplimiento de SLA en Bogotá antes y después de la implementación del modelo



El peso de los pedidos nextday pasó de un 11% en promedio de enero a abril 2024 a un 18% de mayo a noviembre 2024, lo que representa un aumento de 8 puntos porcentuales dentro de la distribución de pedidos, un impacto positivo para la optimización de los ruteos de domicilios y el costo de última milla.

Figura 14

Comparativo de la penetración pedidos nextday en Bogotá antes y después de la implementación del modelo

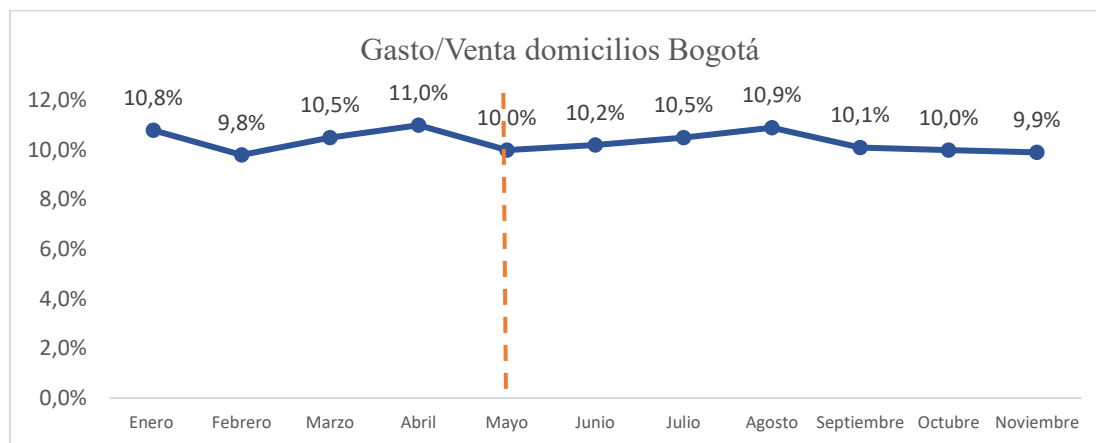


El indicador de gasto/venta para los pedidos en Bogotá se mantuvo estable, incluso ante el aumento de servicios nextday, que implican un menor ingreso por concepto de domicilio. No obstante, gracias a la negociación de una tarifa reducida con el proveedor para los pedidos enrutados, se logró el efecto esperado: compensar la disminución en el cobro al cliente con una reducción proporcional en el costo del servicio.

Como resultado, para el mes de noviembre, el gasto/venta mostró un comportamiento positivo, ubicándose incluso por debajo del 10%.

Figura 15

Comparativo del gasto/venta en Bogotá antes y después de la implementación del modelo



Conclusiones

La combinación de herramientas cualitativas (encuestas a personal clave) y cuantitativas (análisis de KPIs, tiempos de entrega, gasto/venta y comportamiento de los pedidos) permitió construir una visión integral del problema logístico. Esta metodología capturó la voz de los actores internos y la contrastó con datos operativos duros, generando un diagnóstico robusto. Las encuestas revelaron una percepción generalizada de ineficiencia, insatisfacción con los proveedores 3PL y falta de control sobre los tiempos. Paralelamente, los datos históricos mostraron un tiempo promedio de entrega de 75 minutos y una alta concentración de entregas urgentes que limitaba la optimización de rutas. El enfoque mixto sustentado en literatura logística y estudios de caso validó empíricamente las percepciones internas y alineó los hallazgos con patrones reales de comportamiento operativo. Esto otorgó credibilidad a las conclusiones y facilitó la toma de decisiones con base en evidencia. Este diagnóstico no solo identificó causas raíz del problema, sino que también evidenció desequilibrios en la distribución de la demanda y oportunidades de mejora concretas, consolidando la necesidad de segmentar el servicio logístico y priorizar acciones que impactaran en eficiencia, satisfacción del cliente y control operativo.

Uno de los hallazgos clave fue que el 11% de los clientes aceptaba voluntariamente una entrega al día siguiente (nextday) si esto implicaba un menor costo. Esta percepción, identificada en la etapa de análisis, se convirtió en la base para la propuesta de tarifas diferenciadas. Tras su implementación, el porcentaje de pedidos nextday en Bogotá pasó del 11% al 18%, lo que demostró que la propuesta no solo es viable desde el punto de vista operativo, sino también valorada y aceptada por el mercado. Esta redistribución permitió agrupar pedidos y planificar rutas más eficientes para este segmento, liberando capacidad para los pedidos urgentes y

reduciendo la presión sobre el sistema logístico. Además, este cambio confirmó que una estructura tarifaria segmentada puede influir en la decisión del cliente, siempre que se comunique con claridad y ofrezca un beneficio tangible. El diseño de este modelo abre la puerta a ampliar la lógica de segmentación a otros canales de venta, regiones geográficas o franjas horarias, contribuyendo a una operación más balanceada y sostenible. Asimismo, al reducir desplazamientos urgentes innecesarios, la estrategia aporta a la sostenibilidad económica y operativa, consolidando su valor como solución logística adaptable y alineada con las tendencias de última milla.

Dentro de las pautas de medición se implementaron Power Query y Excel como plataformas de análisis. Estas herramientas facilitaron la consolidación de grandes volúmenes de información operativa y comercial, automatizaron procesos clave y garantizaron trazabilidad en los resultados. Su uso hizo que el proyecto fuera más ágil y accesible, favoreciendo la apropiación de resultados por parte del equipo interno y facilitando su comprensión, seguimiento y réplica. En este sentido, la propuesta demostró cómo la analítica aplicada puede integrarse en la operación diaria, impulsando una cultura organizacional de mejora continua y uso estratégico de la información. Tras la implementación en mayo de 2024, los datos del 3PL y del sistema de ventas de Cruz Verde validaron el impacto de la estrategia. El uso de Power Query permitió limpiar, unificar y analizar las bases de datos operativas y comerciales, calculando indicadores como tiempo promedio de entrega, SLA, % de pedidos nextday y gasto/venta. Los resultados evidenciaron una reducción del tiempo promedio de entrega de 75 a 62 minutos, y un aumento en el cumplimiento de la promesa de entrega (SLA) del 87% al 91%. Además, el indicador gasto/venta se mantuvo por debajo del 10.5%, lo que demuestra eficiencia sin comprometer la rentabilidad, gracias a la renegociación de tarifas con el proveedor para los pedidos agrupados.

El modelo implementado se probó sostenible en el tiempo y escalable a otras zonas geográficas, abriendo la posibilidad de replicar la lógica de segmentación y tarifación diferenciada en distintas regiones del país.

Este proyecto no solo resolvió un problema operativo inmediato implementando un modelo de enrutamiento óptimo, sino que sentó las bases para una transformación sostenible del modelo logístico de Cruz Verde. La combinación de diferenciación de tarifas, enrutamiento inteligente, renegociación de costos y análisis de datos convirtió a la compañía en un actor con visión logística moderna y competitiva. En un mercado de e-commerce farmacéutico en crecimiento, la intervención fortaleció la reputación de la empresa, mejoró la experiencia del cliente y creó una ventaja sostenible frente a competidores. El enfoque sustentable, basado en la planificación estratégica de rutas, responde a las tendencias actuales de logística urbana. Además, la propuesta es replicable en otras ciudades y adaptable a distintos volúmenes de operación, otorgando un alto valor estratégico para la expansión del canal e-commerce. La metodología aplicada que combinó diagnóstico cualitativo y cuantitativo, análisis de datos y diseño de soluciones basadas en evidencia se posiciona como una guía práctica para futuros retos operativos. Así, Cruz Verde no solo solucionó una problemática puntual, sino que avanzó hacia un modelo logístico más inteligente, sostenible y alineado con sus objetivos corporativos de crecimiento, eficiencia y satisfacción del cliente.

Referencias Bibliográficas

Adarme Jaimes, W., Arango Serna, M., & Cárdenas, I. (2014). *Comportamientos logísticos en la distribución de última milla de productos alimenticios en Villavicencio, Colombia.*

Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5429763>

Asociación Colombiana de Informática, Sistemas y Tecnologías Afines. (09 de 2021). *La estrategia de Cruz Verde para adaptar la venta y dispensación de medicamentos al medio digital.* Asociación Colombiana de Informática Sistemas y Tecnologías Afines.

<https://acis.org.co/portal/content/noticiadeinteres/la-estrategia-de-cruz-verde-para-adaptar-la-venta-y-dispensaci%C3%B3n-de-medicamentos-al-medio>

Cámara Colombiana de Comercio Electrónico. (26 de 07 de 2022). *El éxito de una buena logística eCommerce.* Cámara Colombiana de Comercio Electrónico

<https://www.ccce.org.co/noticias/el-exito-de-una-buena-logistica-ecommerce/>

ConsultorSalud. (21 de 08 de 2024). *Cruz Verde revoluciona la logística farmacéutica con nuevo centro de distribución – CEDI: una apuesta por la sostenibilidad.* Consultor Salud

<https://consultorsalud.com/cruz-verde-logistica-farma-distribucion-cedi/>

Coordinadora. (9 de 12 de 2021). *¿Qué es fulfillment?* Coordinadora

<https://coordinadora.com/blog/que-es-fulfillment/>

Coordinadora. (23 de 02 de 2022). *3PL: ¿Qué significa en la logística?* Coordinadora

<https://coordinadora.com/blog/3pl-que-significa-en-la-logistica/>

Coordinadora. (18 de 09 de 2024). *¿Qué es la última milla? Importancia del proceso en la*

logística para las empresas. Coordinadora <https://coordinadora.com/blog/importancia->

logistica-de-ultima-milla/#:~:text=de%20esta%20t%C3%A9cnica.-
 ,%C2%BFQu%C3%A9%20es%20la%20%C3%BAltima%20milla?,la%20reputaci%C3
 %B3n%20de%20la%20marca.

Corichi Reyes, J., Guevara Ramírez, I., Sánchez Tobón, E., & Anguiano Torres, J. (2022). *La Logística en la Última Milla y Reactivación Pospandemia*. Celaya, Guanajuato, México: Artículos del Congreso Internacional de Investigación Academia Journals .

Cruz Mejía, O., & Bustamante Delgadillo, J. (2022). *Evolución de las cadenas de suministro para el comercio electrónico y una última milla sustentable*. Dialnet.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8747267>

Cruz Verde . (2024). *Metodo de pago* . Cruz Verde <https://www.cruzverde.com.co/delivery-method>

Daza, J., Montoya, J., & Narducci, F. (2009). *RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA DE ENRUTAMIENTO DE VEHÍCULOS CON LIMITACIONES DE CAPACIDAD UTILIZANDO UN PROCEDIMIENTO METAHEURÍSTICO*. Medellín (Colombia): Revista EIA, ISSN 1794-1237 Número 12, p. 23-38. Diciembre 2009 Escuela de Ingeniería de Antioquia.

Distpatchtrack. (8 de 8 de 2023). *Última milla: Cómo adecuarse a las restricciones de ventanas horarias*. Distpatchtrack. <https://www.beetrack.com/es/blog/ventanas-horarias#:~:text=%C2%BFPor%20qu%C3%A9%20son%20importantes%20las,en%20los%20centros%20de%20distribuci%C3%B3n>

Droguerías Cruz Verde . (2024). *Perfil Corporativo*. Cruz Verde

<https://www.cruzverde.com.co/nosotros/perfil-corporativo/?srsltid=AfmBOooQkluxfnxyi7S-FxB8NDQEcrI44TgTMjWz6USATF-2355ttJVG>

Droguerías Cruz Verde. (2024). *Quiénes Somos*. https://www.cruzverde.com.co/nosotros/perfil-corporativo/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjw5PK_BhBBEiwAL7GTPSkJNc29ofyTLfur6x_gTIitligD2eAIVKNwut_v9HS591icohJnlORoC09oQAvD_BwE

Ewedairo, K., Chhetri, P., & Dodson, J. (2015). *A GIS Methodology for Estimating the Transport Network Impedance to Last-Mile Delivery*. Gold Coast, Australia: 7th State of Australian Cities Conference, 9-11.

Farmacías, MGroup. (03 de 02 de 2023). *Retos y oportunidades para las farmacias colombianas en 2023* . Memphis <https://memphis.com.co/retos-oportunidades-para-las-farmacias-en-colombia/>

Flórez Oviedo, N., & López Hincapié, E. (2023). *Evolución de la logística de la última milla. Revisión de la Literatura*. EBSCOHost Ingeniería Industrial/ISSN 1815-5936/Vol. XLIV/No. 2/mayo-agosto /2023/4425.

Gevaersa, R., Van de Voorde, E., & Vanel, T. (2014). *Cost Modelling and Simulation of Last-mile Characteristics in an Innovative B2C Supply Chain Environment with Implications on*. Bélgica: Procedia - Social and Behavioral Sciences 125 (2014) 398 – 411.

Golan, P. (06 de 12 de 2024). *Omnicanalidad: ¿Qué es y cómo puede transformar tu pyme?* Mailer lite.

<https://www.mailerlite.com/es/blog/omnichannel#:~:text=respuestas%20que%20necesitas,%20es%20la%20omnicanalidad%20y%20por%20qu%20es%20esencial%20para,chat%20o%20por%20correo%20electr%C3%B3nico>

Gómez Montoya, R., Cano Arenas, J., & Montoya Bernal, E. (2020). *Método costeo ABC con simulación de Monte Carlo en la logística en la cadena de suministro en la industria 4.0*. EBSCO <https://research-ebSCO-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/c/qcagk4/search/details/azwi2jfebb?q=Cadena+de+suministro+and+%28logística+or+transporte+or+distribución+%29>

González Ramírez, R., Ascencio, L., Vairetti, C., Dolores Gracia, M., & Mar Ortiz, J. (2020). *MODELO ESTRATÉGICO RECONFIGURABLE PARA LA LOGÍSTICA DE LA INTERFAZ TERRESTRE PORTUARIA EN CHILE*. EBSCO <https://research-ebSCO-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/c/qcagk4/search/details/h2ibhz45wb?q=logística+y+última+milla#Au>

Gonzalez Romero, I., & Prado Prado, J. (2023). *La última milla sostenible en el comercio electrónico: Identificación de los temas de investigación tratados en la literatura*. Vigo, España: www.revistadyo.com.

Hernandez, F., Sotelo, R., & Forets, M. (01 de 01 de 2024). *Algoritmos de optimización para secuenciación adaptativa de rutas reales en entregas de última milla*. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9263248>

La República. (23 de 11 de 2021). *Cruz Verde sigue con su plan de expansión e inauguró el establecimiento número 500*. La Republica. <https://www.larepublica.co/empresas/cruz->

verde-sigue-con-su-plan-de-expansion-e-inauguro-el-establecimiento-numero-500-3265874

Malhotra, A. (15 de 03 de 2021). *Entrega de medicamentos y su papel en la revolución de la industria de la salud*. Jungle Works. <https://jungleworks.com/es/la-entrega-de-medicamentos-y-su-papel-en-la-revoluci%C3%B3n-de-la-industria-de-la-salud/>

Molina, A., Gómez, C., & Serna, C. (2024). *Los indicadores de desempeño de la distribución urbana de mercancías: Un análisis bibliométrico*. EBSCO <https://research-ebSCO-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/c/qcagk4/viewer/pdf/lkbsjffj6r>

Mora García, L. (2005). *Indicadores de la gestión logística KPI*. Fundación de estudios superiores Comfanorte https://www.fesc.edu.co/portal/archivos/e_libros/logistica/ind_logistica.pdf

Moscoso Duran, F., Ocampo Velez, P. C., Velasquez Contreras, A., Luna Flechas, W., & Libreros Maya, J. (2017). *Elementos de competitividad infraestructura y cadena de abastecimiento para Colombia*. Bogotá: Editorial EAN. Universidad EAN: <https://editorial.universidadean.edu.co/media/acceso-abierto/elementos-de-competitividad-infraestructura-y-cadena-ean.pdf>

Peralta Abarca, J. d., Moreno Bernal, P., Bonilla Sanchez, F. d., & Hernández Aguilar, J. A. (23 de 10 de 2024). *Optimización y su relación con la logística*. Inventio, la génesis de la cultura universitaria en Morelos: <https://inventio.uaem.mx/index.php/inventio/article/view/916/1184>

Portafolio. (9 de 09 de 2024). *Cruz Verde expande su red de droguerías 24 horas en Colombia.*

Portafolio. <https://www.portafolio.co/negocios/empresas/cruz-verde-anuncio-la-expansion-de-droguerias-24-horas-612967>

Ramos Cassiano, D., Vieira Bertoncini, B., & de Oliveira, L. (2021). *A Conceptual Model Based on the Activity System and Transportation System for Sustainable Urban Freight*

Transport. Fortaleza, Brasil: Sustainability 2021, 13(10), 5642;

<https://doi.org/10.3390/su13105642>.

Sánchez Suárez, Y., Pérez Castañeira, J., Sangroni Laguardia, N., Cruz Blanco, C., & Medina

Nogueira, Y. (2021). *Retos actuales de la logística y la cadena de suministro.* EBSCO

<https://research-ebSCO-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/c/qcagk4/viewer/pdf/owk2jjqblv>

Viu Roig, M., & Castillo , C. (2022). *Evolución de la logística pasado, presente y futuro.*

OIKONOMICS. chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://oikonomics.uoc.edu/divulgacio/oikonomics/_recursos/documents/17/OIKONOMICS17_02_viu_ES.pdf

onomics/_recursos/documents/17/OIKONOMICS17_02_viu_ES.pdf

Zaher Akkad, M., Rabee, R., & Banyai, T. (2022). *ENERGY EFFICIENCY OPTIMIZATION OF*

LAST MILE SUPPLY SYSTEM WITH REVERSE LOGISTICS. International Scientific

Journal about Logistics.

Anexos

Anexo 1. Encuestas realizadas al equipo de Cruz Verde:

Instrumento de Recolección de Información

I. Identificación General

1. **Nombre de la Empresa:** _____
2. **Sector:** Farmacéutico
3. **Fecha de la Encuesta/Entrevista:** _____
4. **Nombre del responsable de la Información:** _____
5. **Cargo:** _____
6. **Correo Electrónico:** _____
7. **Teléfono de Contacto:** _____

II. Procesos Logísticos

1. **¿Cuál es la estructura del proceso logístico actual de la empresa?**
 - Centralizado
 - Descentralizado
 - Mixto
 - Otro (Especifique): _____
2. **¿Cómo describiría la eficiencia de las entregas de última milla?**
 - Muy eficiente
 - Moderadamente eficiente
 - Poco eficiente
 - Deficiente

3. **¿Cuáles son los mayores desafíos en la gestión de la última milla en su empresa?**

(Puede seleccionar más de uno)

- Altos costos de entrega
- Tráfico y tiempos de entrega prolongados
- Falta de visibilidad y control en la cadena de distribución
- Retrasos y pérdidas de paquetes
- Insatisfacción del cliente
- Otro: _____

4. **¿Qué métodos utilizan para optimizar las rutas de entrega?**

- Algoritmos de enrutamiento
- Planificación manual
- Uso de plataformas tecnológicas de terceros
- Otro (Especifique): _____

III. Herramientas y Tecnologías Utilizadas

1. **¿Qué tecnología utiliza la empresa para gestionar el seguimiento de los pedidos en la última milla?**

- Software de gestión de transporte (TMS)
- Sistemas de información geográfica (GIS)
- Aplicaciones móviles para seguimiento en tiempo real
- Otros (Especifique): _____

2. **¿Cuenta la empresa con un sistema de gestión de calidad en los procesos logísticos?**

- Sí
- No
- En proceso de implementación

3. **¿Cuál es el nivel de satisfacción con los proveedores 3PL que gestionan la última milla?**
- Muy satisfecho
 - Satisfecho
 - Neutral
 - Insatisfecho

IV. Evaluación de Costos Operativos

1. **¿Cuáles son los principales factores que incrementan los costos de la última milla en su empresa?** (Seleccione las tres más importantes)
- Combustible
 - Mantenimiento de vehículos
 - Retrasos en la entrega
 - Exceso de rutas no optimizadas
 - Dependencia de proveedores externos
 - Otro (Especifique): _____
2. **¿Cómo ha evolucionado el costo promedio de entrega en los últimos 12 meses?**
- Ha disminuido
 - Se ha mantenido estable
 - Ha aumentado

V. Satisfacción del Cliente y Experiencia del Usuario

1. **¿Cuáles son los principales reclamos de los clientes en cuanto a las entregas de última milla?**
- Retrasos en la entrega
 - Paquetes dañados o extraviados
 - Falta de información de seguimiento

- Costo elevado del envío
 - Otro (Especifique): _____
2. **¿Cómo califica la satisfacción general de los clientes en relación con los tiempos de entrega?**
- Muy satisfecho
 - Satisfecho
 - Neutral
 - Insatisfecho

VI. Propuestas de Mejora y Sostenibilidad

1. **¿Qué estrategias ha implementado la empresa para reducir los tiempos de entrega en la última milla?**
- Optimización de rutas
 - Implementación de vehículos eléctricos
 - Mejora en la negociación con proveedores
 - Otro (Especifique): _____
2. **¿Se están implementando prácticas sostenibles en el proceso de entrega?**
- Sí
 - No
 - En proceso de implementación
3. **¿Considera que la introducción de vehículos eléctricos o tecnologías limpias podría mejorar la eficiencia operativa en la última milla?**
- Sí
 - No
 - No estoy seguro

VII. Evaluación de Resultados y Satisfacción

1. **¿Qué indicadores utiliza la empresa para medir el desempeño en la última milla?**
(Seleccione los que apliquen)
 - Tiempos de entrega (SLA)
 - Costo por entrega
 - Satisfacción del cliente (NPS)
 - Otro (Especifique): _____

2. **¿Cómo evalúa el impacto de las mejoras implementadas en el último año en relación con los tiempos de entrega?**
 - Muy positivo
 - Moderadamente positivo
 - No ha habido cambios significativos
 - Negativo