

# Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente

Reconocimiento de validez oficial de estudios de nivel superior según acuerdo secretarial 15018, publicado en el Diario Oficial de la Federación del 29 de noviembre de 1976.

Departamento de Economía, Administración y Mercadología  
Especialidad en Gestión de la Cadena de Suministro



**OPTIMIZACIÓN DEL MODELO DE DISTRIBUCIÓN EN EL CANAL  
TRADICIONAL EN LA ETAPA DE LA ÚLTIMA MILLA PARA UNA  
EMPRESA DEDICADA A LA COMERCIALIZACIÓN DE PRODUCTOS DE  
SALUD Y CUIDADO PERSONAL : ENFOQUE EN EL PROBLEMA DE  
ENRUTAMIENTO DE VEHÍCULOS.**

**TRABAJO RECEPCIONAL** que para obtener el **GRADO** de  
**ESPECIALISTA EN GESTIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO**

Presenta: **ING. DALIA NAVARRO LÓPEZ**

Asesor **DR. IGNACIO ALVAREZ PLACENCIA**

Tlaquepaque, Jalisco. 2 de septiembre de 2024.

## Contenido

<b>Especialidad en Gestión de la Cadena de Suministro .....</b>	<b>1</b>
<b>TÍTULO DEL TRABAJO DE OBTENCIÓN DEL GRADO .....</b>	<b>7</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>10</b>
<b>Fundamentación del trabajo .....</b>	<b>10</b>
1.1. Descripción del escenario que se planea intervenir y su contexto.....	10
1.2. Análisis del entorno de la organización .....	12
1.3. Descripción de la problemática percibida que justifica la intervención .....	14
1.4. Delimitación y área funcional por intervenir .....	16
1.5. Validación de las condiciones de la intervención .....	17
1.6. Diagnóstico preliminar: primera hipótesis.....	20
1.7. Objetivos de la intervención .....	22
1.8. Relevancia y pertinencia del trabajo.....	24
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>25</b>
<b>Marco conceptual de referencia.....</b>	<b>25</b>
2.1. Estado de la cuestión .....	25
2.2. Conceptos y enfoques teóricos relacionados .....	33
2.3. Análisis de referencia para el cambio .....	39
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>42</b>
<b>Diagnóstico profundo: Marco de referencia y estrategia de intervención .....</b>	<b>42</b>

---

3.1. Definición de la estrategia de intervención, selección de las herramientas requeridas y el cronograma del diagnóstico profundo .....	42
3.2 Definición de los factores prioritarios a intervenir y/o cambiar en la problemática	46
3.3 Metas de información (qué quiero conocer con mi diagnóstico profundo) .....	49
3.4 Identificación, descripción y cuantificación de métricas iniciales .....	51
3.5 Descripción del análisis: correlación e interpretación de la información.....	60
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>62</b>
<b>Implementación: Planeación de la intervención .....</b>	<b>62</b>
4.1 Justificación de la intervención .....	62
4.1.1 Consideraciones costo/beneficio de la intervención .....	63
4.2 Actividades, herramientas e instrumentos .....	70
4.3 Etapas del proceso de aplicación de la intervención .....	77
4.3.1 Cronograma de la implementación de la estrategia .....	86
4.3.2 Imprevistos .....	86
<b>CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>88</b>
<b>Implementación: Exposición de hallazgos .....</b>	<b>88</b>
5.1 Sistematización y aplicación de escalas de medición de resultados .....	88
5.2 Organización de la información obtenida .....	91
5.3 Impacto de la estrategia en la organización .....	94
<b>CAPÍTULO 6 .....</b>	<b>102</b>
<b>Discusión final .....</b>	<b>102</b>
6.1 Relevancia y trascendencia disciplinaria de la estrategia de intervención.....	102
6.2 Aspectos de mejora para intervenciones subsecuentes.....	104
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>108</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>110</b>

---

---

**GLOSARIO..... 114**

**Índice de siglas**

TOG: Trabajo de Obtención de Grado

IDI: Investigación, Desarrollo e Innovación

DEAM: Departamento de Economía, Administración y Mercadología

ITESO: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente

VRP: Vehicle Routing Problem

**Índice de tablas**

Tabla 1	<i>Porcentaje de principales gastos sobre venta</i>	11
Tabla 2	<i>Desglose de porcentaje de gasto de equipo de transporte</i>	11
Tabla 3	<i>Project Charter: Visión General del Proyecto y Objetivos Clave</i>	19
Tabla 4	<i>Trabajos de investigación enfocados en la solución al VRP.</i>	30
Tabla 5	<i>Matriz del Marco Lógico: Objetivos, Indicadores y Medios de Verificación.</i>	39
Tabla 6	<i>Herramientas requeridas para la implementación.</i>	43
Tabla 7	<i>Cronograma Completo para la Ejecución del Diagnóstico Profundo</i>	44
Tabla 8	<i>Promedio de las Métricas Iniciales Evaluadas para la Implementación.</i>	55
Tabla 9	<i>Ubicación geográfica de clientes de una zona.</i>	58
Tabla 10	<i>Resumen de los Costos Iniciales Estimados.</i>	65
Tabla 11	<i>Estimación de los Costos Mensuales Operativos.</i>	66
Tabla 12	<i>Análisis del Flujo Libre de Caja Proyectado.</i>	67
Tabla 13	<i>Indicadores Clave de Rentabilidad del Proyecto.</i>	67
Tabla 14	<i>Ubicaciones de pedidos de un día correspondientes a una ruta.</i>	78
Tabla 15	<i>Promedio de los Indicadores Clave por Unidad (Histórico).</i>	80
Tabla 16	<i>Distancia y gasto actual de la unidad analizada.</i>	84
Tabla 17	<i>Cronograma de la implementación de la estrategia.</i>	86
Tabla 18	<i>Coordenadas geográficas de los puntos que visita la unidad.</i>	89
Tabla 19	<i>Matriz de Distancias entre Puntos de Distribución.</i>	90
Tabla 20	<i>Ruta de Distribución Optimizada.</i>	95
Tabla 21	<i>Porcentaje de reducción en los indicadores clave.</i>	96
Tabla 22	<i>Comparativa de indicadores antes y después de la optimización.</i>	97

## Índice de gráficos

Figura 1	<i>Análisis de Pareto de problemas en la distribución en la última milla.</i>	16
Figura 2	<i>Diagrama de árbol de las principales causas de las problemáticas en la distribución.</i>	21
Figura 3	<i>Documentos académicos sobre VRP en los últimos 10 años.</i>	26
Figura 4	<i>Tipo de documentos sobre VRP por título en los últimos 10 años (EBSCO, 2023).</i>	27
Figura 5	<i>Pedidos promedio por día de la semana.</i>	51
Figura 6	<i>Kilómetros recorridos promedio por día.</i>	52
Figura 7	<i>Costo diario de combustible por unidad.</i>	53
Figura 8	<i>Recorrido actual de un día de un chofer realizado en Google Maps.</i>	59
Figura 9	<i>Diagrama de Ishikawa: Análisis de las Causas Principales del Problema.</i>	63
Figura 10	<i>Mapa de Cadena de Valor (VSM) en su Estado Actual.</i>	71
Figura 11	<i>Mapa de Cadena de Valor (VSM) en su Estado Futuro.</i>	74
Figura 12	<i>Formato A3: Resumen del Análisis y Propuestas de Mejora.</i>	76
Figura 13	<i>Indicadores clave del formato A3 para evaluación del proyecto.</i>	77
Figura 14	<i>Puntos geográficos que reparte cada unidad en un día (cada color equivale a una unidad).</i>	79
Figura 15	<i>Rutas a realizar por un chofer en un día.</i>	81
Figura 16	<i>Delimitación de una ruta por chofer.</i>	81
Figura 17	<i>Recorrido actual de la ruta seleccionada.</i>	82
Figura 18	<i>Recorrido actual en forma de grafo.</i>	83
Figura 19	<i>Gráfica de los puntos en base a su longitud y latitud.</i>	93
Figura 20	<i>Grafo de la ruta más óptima.</i>	93
Figura 21	<i>Distancia Total Recorrida Antes y Después de la Intervención.</i>	96
Figura 22	<i>Parte 1 de los parámetros antes y después de la intervención.</i>	98
Figura 23	<i>Parte 2 de los parámetros antes y después de la intervención.</i>	99

## Abstract

El enrutamiento de vehículos es un problema logístico importante para compañías de distribución, este trabajo de investigación se enfoca en optimizar los costos más significativos asociados con el VRP en la última milla, con el propósito de mejorar la eficiencia operativa y reducir los gastos de la empresa de la cual se hará la implementación.

Comenzamos por revisar la literatura existente sobre el VRP y sus variantes, identificando los factores críticos que influyen en los costos de distribución en la etapa de la última milla, como la distancia recorrida, la capacidad de los vehículos y las restricciones temporales. A continuación, se propone un modelo de optimización matemática que tiene en cuenta estos factores y utiliza algoritmos de optimización avanzados, como la meta heurística de la colonia de hormigas y el algoritmo genético, para encontrar soluciones óptimas o cercanas a óptimas.

Además, se desarrolla un estudio de caso utilizando datos reales de una empresa de distribución, donde se aplican las técnicas propuestas para resolver problemas de VRP específicos. Los resultados demuestran una reducción significativa en los costos de distribución, así como mejoras en la eficiencia operativa, esto resulta en un retorno de la inversión favorable en un plazo breve.

Este trabajo contribuye a la optimización de los principales costos de distribución en la etapa de la última milla en el contexto del VRP, brindando a las empresas una herramienta efectiva para mejorar su competitividad en un mercado cada vez más exigente y globalizado. Además, abre la puerta a futuras investigaciones en la aplicación de técnicas de inteligencia artificial y optimización en la gestión de la cadena de suministro y la logística.

**Palabras clave:** Enrutamiento de Vehículos (VRP), costos logísticos, optimización de la distribución, eficiencia operativa.

# TÍTULO DEL TRABAJO DE OBTENCIÓN DEL GRADO

## INTRODUCCIÓN

En el panorama empresarial actual, la gestión eficiente de la cadena de suministro se ha convertido en un factor crítico para el éxito y la competitividad de las organizaciones. Uno de los desafíos fundamentales en esta gestión es la optimización de los costos de distribución en la etapa llamada la última milla, la cual hace referencia al último paso de la cadena de suministro en la que los bienes son entregados desde un almacén hasta el cliente, que generalmente es su residencia o lugar de negocio, es un aspecto crucial que afecta de manera directa en la rentabilidad y la satisfacción del cliente. Dentro de ese contexto, el Vehicle Routing Problem (VRP) emerge como uno de los problemas más complejos y relevantes en el ámbito de la logística y la distribución.

El VRP, en su esencia, es un problema de optimización que se centra en la planificación de recorridos eficientes para un grupo de vehículos que tienen como propósito entregar productos a un grupo de clientes, minimizando así los costos totales de operación. Esta tarea no es solo un rompecabezas matemático intrigante, sino que también tiene aplicaciones prácticas de gran alcance en una variedad de industrias, desde la distribución de mercancías y alimentos hasta la revisión de la salud y los servicios de transporte público.

El propósito central de esta investigación es adentrarse en el fascinante mundo del VRP y explorar en profundidad sus diversas facetas. Se propone abordar esta problemática desde múltiples perspectivas, analizando estrategias, algoritmos y enfoques innovadores que permitan optimizar la distribución en la última milla de productos de manera más eficiente y, por ende, reducir los costos asociados. A lo largo de estas páginas, no solo examinaremos la teoría detrás del VRP, sino que también nos sumergiremos en casos

de estudio reales, donde se aplican técnicas avanzadas de optimización para resolver desafíos logísticos concretos.

La optimización de la distribución en la última milla en el canal tradicional se presenta como una iniciativa estratégica crucial para la empresa, con un impacto significativo en varios de sus objetivos estratégicos fundamentales. En primer lugar, la eficiencia mejorada en la entrega a los "changarros" no solo tiene el potencial de aumentar las ventas al garantizar una disponibilidad más rápida de productos, sino que también contribuirá a la mejora de la satisfacción del cliente, fortaleciendo así la lealtad y fomentando relaciones comerciales a largo plazo. Además, la reducción de la distancia total recorrida y la optimización de rutas anticipan una disminución en los costos operativos asociados a la distribución, directamente alineada con nuestros objetivos de aumentar el margen de utilidad y garantizar un flujo de efectivo más eficiente. Este proyecto también aborda el compromiso con la gestión sustentable al reducir la huella ambiental asociada con la entrega, al tiempo que demuestra el compromiso con el desarrollo de los colaboradores al incorporar tecnologías avanzadas que impulsan la eficiencia y fomentan la capacitación continua. En conjunto, esta iniciativa no solo busca mejorar la logística, sino que se integra de manera integral con los pilares estratégicos de la empresa, posicionándola para un crecimiento sostenible y un mayor éxito empresarial.

Este trabajo se organizará de manera estructurada, comenzando por una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre el VRP y sus variantes, lo que nos proporcionará una base sólida para comprender la amplitud del problema y las soluciones previas propuestas por la comunidad científica. A continuación, nos adentraremos en la aplicación de algoritmos específicos para abordar el VRP, incluyendo enfoques tradicionales como el algoritmo del vecino más cercano, así como técnicas más avanzadas basadas en la optimización heurística y metaheurística.

Además, exploraremos el impacto de las tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial y el aprendizaje automático, en la resolución de problemas de VRP y cómo estas

---

innovaciones están transformando la logística y la distribución. También discutiremos las implicaciones prácticas de nuestras investigaciones y como las organizaciones pueden implementar soluciones basadas en VRP para mejorar sus operaciones y reducir sus costos.

En resumen, este trabajo de investigación se propone arrojar luz sobre el desafiante campo de la optimización de los costos de la última milla, con un enfoque específico en el Vehicle Routing Problem. A través de un análisis riguroso y una exploración exhaustiva de soluciones potenciales, se aspira a proporcionar a las empresas y a la comunidad académica una visión completa de cómo abordar este problema crítico en la gestión de la cadena de suministro, mejorando la eficiencia y la rentabilidad en el proceso.

# CAPÍTULO 1

## Fundamentación del trabajo

La optimización de los principales costos de distribución en la etapa de la última milla es un tema de gran relevancia en el ámbito de la logística y la cadena de suministro, ya que impacta de primera mano en el rendimiento operativo y la rentabilidad de las compañías. En este contexto, el enfoque en el Vehicle Routing Problem (VRP), o Problema de Enrutamiento de Vehículos, se presenta como una herramienta esencial para abordar este desafío de manera efectiva. En este trabajo de investigación, se busca fundamentar la importancia y la relevancia de abordar la optimización de los costos del proceso de última milla con un enfoque en el VRP.

### 1.1. Descripción del escenario que se planea intervenir y su contexto

La industria de productos de consumo se encuentra en un constante proceso de evolución, impulsada por cambios en la forma y costumbre de compra de los usuarios y el avance tecnológico. En este contexto, el canal de distribución, desempeña un importante papel para aquellas empresas fabricantes que buscan tener una venta directa con el cliente, ya que, a través de intermediarios, se cumple con la función de distribuir su producto (Díez de Castro, 1997).

Una de las empresas líder en la venta de productos de belleza, salud y cuidado personal, ha desarrollado un proyecto de distribución de sus productos mediante el canal tradicional, el cual se compone de negocios informales e interdependientes, mejor conocidos como las tienditas de la esquina o changarros (Álvarez & Charmel, 2001). En este proyecto se subsidia la mayor parte del gasto que genera la operación condicionándolo al cumplimiento de ciertos indicadores establecidos por dicha empresa para que el distribuidor pueda arrancar y contar con el flujo necesario para operar. Este proyecto ha tenido un impacto significativo en las ventas de la compañía y además ha incrementado la distribución numérica de algunos productos, la cual establece el

porcentaje de establecimientos en los que se encuentran las marcas o productos (West, 1991). Debido a estos buenos resultados, se ha venido buscando y aperturando constantemente nuevos distribuidores en los diferentes estados de la república.

La empresa tiene el compromiso de apoyar al distribuidor para conseguir una buena rentabilidad y aumentarla constantemente, lo que conlleva a no solo implementar estrategias comerciales que incrementen la venta, si no, establecer un modelo de operación eficiente que ayude a mantener un porcentaje de gasto total por debajo del 40% sobre la venta. Actualmente el gasto se distribuye de la siguiente manera, dando un porcentaje de gasto total por arriba del 50% sobre la venta:

**Tabla 1**

*Porcentaje de principales gastos sobre venta*

Etiquetas de fila	% Gasto vs Venta
Almacenaje y Distribución	5%
Nominas	35%
Equipo de transporte	12%

*Nota.* La tabla muestra la distribución porcentual de los principales gastos en relación con las ventas, destacando el impacto significativo de la nómina y el equipo de transporte en los costos operativos. Fuente: Elaboración propia.

Desglosando el gasto de equipo de transporte se encuentra de la siguiente forma:

**Tabla 2**

*Desglose de porcentaje de gasto de equipo de transporte*

Etiquetas de fila	% Gasto vs Venta
Equipo de transporte	12%
Gasolina	6%
Mantenimientos	4%
Otros	2%

*Nota.* Desglose del porcentaje de gasto relacionado con el equipo de transporte, que incluye costos de gasolina, mantenimiento, y otros gastos asociados. Fuente: Elaboración propia.

El propósito de este trabajo de investigación es desarrollar un modelo basado en estrategias y buenas prácticas mediante el cual permita al distribuidor maximizar la eficiencia y rentabilidad de su operación así como reducir su porcentaje de gasto actual, teniendo como eje principal el análisis de las diferentes variables del proceso de distribución en la etapa de la última milla, como lo son el rendimiento de unidades, tiempos de transporte, distancias y en general los problemas que se presentan durante el enrutamiento de vehículos.

## **1.2. Análisis del entorno de la organización**

La empresa en la que se planea intervenir es un distribuidor destacado en el canal tradicional que, aunque ha experimentado un crecimiento significativo en su red de distribución, enfrenta desafíos importantes en la gestión de la última milla, especialmente en términos de eficiencia operativa, adopción tecnológica y satisfacción del cliente. A continuación, se presenta un análisis competitivo en estas áreas, basado en las mejores prácticas observadas en la industria.

### **Eficiencia en la Distribución**

La empresa actualmente utiliza métodos empíricos para la planificación de rutas y distribución, lo que genera ineficiencias que afectan la puntualidad de las entregas y la utilización de la flota de vehículos. En la industria, las empresas más eficientes han adoptado sistemas avanzados de optimización logística, permitiéndoles una planificación de rutas dinámica y adaptativa.

Estas prácticas incluyen el uso de software que integra datos en tiempo real sobre el tráfico, el clima y la demanda, permitiendo ajustar las rutas sobre la marcha para maximizar la eficiencia. La capacidad de responder rápidamente a estas variables no solo reduce el tiempo de entrega, sino que también optimiza el uso de la flota de vehículos, minimizando las distancias recorridas y mejorando la eficiencia operativa.

En contraste, la empresa enfrenta desafíos debido a rutas predefinidas que no se ajustan adecuadamente a las fluctuaciones en la demanda ni a las condiciones cambiantes del tráfico, lo que resulta en recorridos más largos y menos eficientes.

### **Capacitación y Tecnología**

Otro desafío clave para la empresa es la falta de inversión en capacitación y tecnología. Las empresas líderes en la industria han hecho de la capacitación continua una prioridad, asegurando que su personal esté bien entrenado en el uso de herramientas digitales y técnicas avanzadas de gestión logística. Estos programas de capacitación no solo se enfocan en la eficiencia operativa, sino también en la adaptación a nuevas tecnologías, lo que permite a las empresas mantener una cadena de suministro altamente eficiente y adaptable.

Por otro lado, la empresa aún no ha implementado plenamente estas prácticas, lo que limita su capacidad para competir en un mercado donde la tecnología y la capacitación son diferenciadores clave. La dependencia de métodos tradicionales y la falta de formación en nuevas herramientas logísticas ralentizan su capacidad de respuesta y adaptación.

### **Satisfacción del Cliente**

La satisfacción del cliente es otra área donde la empresa tiene oportunidades de mejora. En la industria, las empresas que se destacan en este aspecto han implementado sistemas de seguimiento en tiempo real, que no solo permiten monitorizar las entregas, sino que también proporcionan a los clientes información actualizada sobre el estado de sus pedidos.

Estos sistemas de transparencia y cumplimiento estricto de los tiempos de entrega han demostrado ser fundamentales para mantener altos niveles de satisfacción del cliente y fomentar relaciones a largo plazo. La capacidad de cumplir consistentemente con los plazos y ofrecer visibilidad en tiempo real a los clientes es un factor crítico que influye en su lealtad.

En comparación, la empresa no cuenta con un sistema tan avanzado, lo que contribuye a una experiencia de cliente menos predecible y, en última instancia, a un menor nivel de satisfacción.

Este trabajo de investigación brinda beneficios tangibles tanto a nivel social como ambiental a la compañía, generando un impacto positivo en la responsabilidad social mediante la reducción de emisiones de carbono al optimizar las distancias recorridas, así mismo, generar rutas más eficientes pueden contribuir a reducir la congestión del tráfico, lo que beneficia a la comunidad al disminuir los tiempos de viaje y el estrés en las carreteras. Ayuda a contrarrestar los efectos económicos que han traído consigo los diferentes sucesos mundiales a través de la generación y retención de empleos.

La implementación exitosa de estrategias de optimización de rutas a menudo requiere la capacitación y el desarrollo de los colaboradores, ya que deben familiarizarse con nuevas tecnologías y procesos, lo que mejora las habilidades del colaborador y contribuye a su crecimiento profesional. De igual forma, involucrar a los colaboradores en proyectos de optimización aumenta su sentido de pertenencia y compromiso con la empresa, ya que ven que sus ideas y esfuerzos contribuyen a mejorar la eficiencia operativa.

### **1.3. Descripción de la problemática percibida que justifica la intervención**

El sector de la logística y la cadena de suministro enfrenta desafíos constantes relacionados con la gestión eficiente de la distribución de productos y servicios. Los costos asociados a esta actividad representan una parte significativa de los gastos operativos de las organizaciones. Por lo tanto, existe una necesidad imperante de desarrollar estrategias que permitan minimizar estos costos sin comprometer la calidad del servicio.

La mayoría de los distribuidores de la empresa en la que se desarrollara este trabajo de investigación han presentado un porcentaje de gasto total por arriba del 50% el cual

sobrepasa el óptimo para generar rentabilidad en sus negocios, este porcentaje ha venido siendo alto desde el inicio del proyecto debido a la falta de estrategias y herramientas que ayuden a guiar al distribuidor a minimizar sus costos generando procesos eficientes. Dentro de la distribución, se ha analizado que el proceso logístico de entrega de pedidos al cliente final es de los que más impacta en el gasto debido a que existen un gran número de variables que deben ser medidas y controladas y actualmente no se cuentan con una forma fiable de cuantificar estas diferentes variables que lo envuelven.

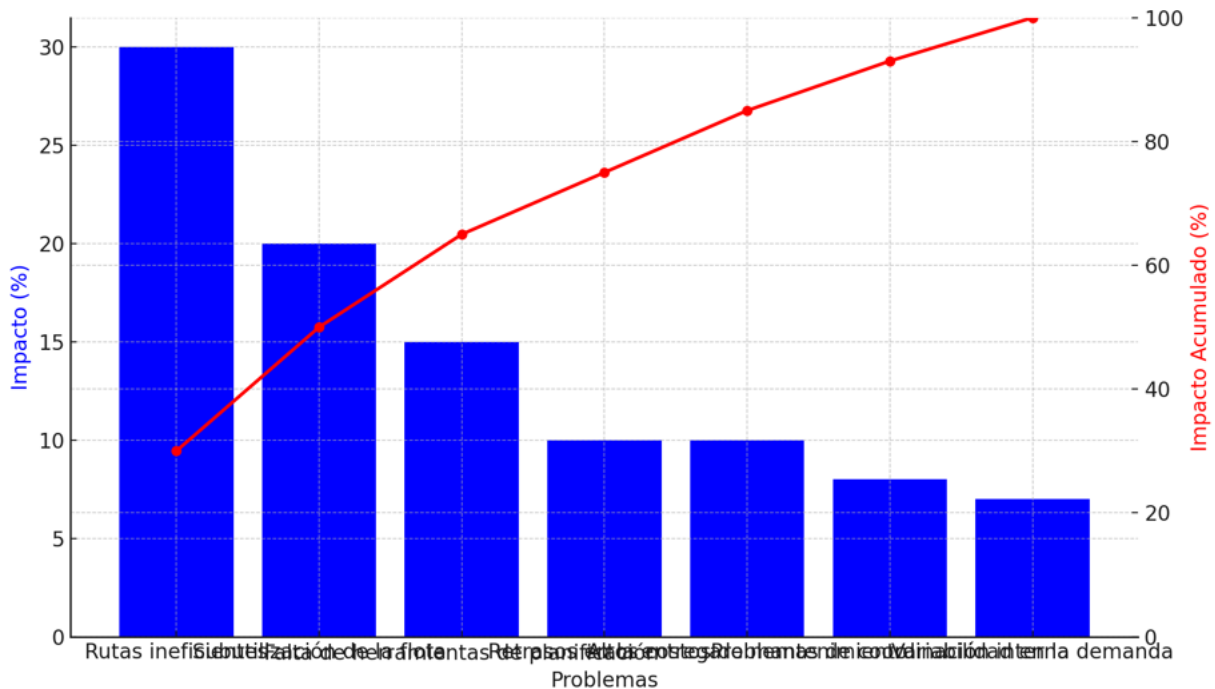
Para identificar y priorizar los problemas más críticos en la distribución en la última milla, se ha realizado un análisis de Pareto en el cual podemos visualizar cuáles problemas tienen un mayor impacto en los costos operativos y deben ser abordados con mayor urgencia:

- **Rutas ineficientes:** 30% del impacto total.
  - Las rutas actuales no se ajustan a las condiciones del tráfico ni a las demandas de los clientes, lo que resulta en viajes más largos y costosos.
- **Subutilización de la flota:** 20% del impacto total.
  - La flota de vehículos no se utiliza de manera óptima, lo que genera altos costos de mantenimiento y operación.
- **Falta de herramientas de planificación:** 15% del impacto total.
  - La ausencia de herramientas avanzadas para la planificación de rutas y la optimización logística limita la eficiencia operativa.
- **Retrasos en la entrega:** 10% del impacto total.
  - Los problemas en cumplir con las ventanas de tiempo acordadas provocan insatisfacción del cliente y mayores costos.
- **Altos costos de mantenimiento:** 10% del impacto total.
  - La falta de mantenimiento preventivo y la gestión inadecuada de la flota elevan los costos operativos.
- **Problemas de coordinación interna:** 8% del impacto total.

- La falta de coordinación entre los departamentos de planificación y operación genera ineficiencias y costos adicionales.
- **Variabilidad en la demanda:** 7% del impacto total.
  - La falta de previsibilidad en la demanda afecta la planificación y la eficiencia del uso de la flota.

**Figura 1**

*Análisis de Pareto de problemas en la distribución en la última milla.*



*Nota.* Diagrama de Pareto que muestra los problemas principales en la distribución en la última milla, ordenados por su impacto en los costos operativos, destacando la ineficiencia en las rutas y la subutilización de la flota como los factores más críticos.  
Fuente: Elaboración propia.

#### 1.4. Delimitación y área funcional por intervenir

La implementación de este trabajo de investigación se llevará a cabo en uno de los distribuidores que contienen una alta complejidad en su estructura, debido a que cuenta con la mayoría de los modelos de venta, tiene varias sucursales y representa gran parte

del volumen de venta y por lo tanto del gasto del proyecto en general. Una vez validado el modelo, se podrá continuar con la implementación en el resto de los distribuidores.

Dentro del análisis de reducción de costos existen una gran cantidad de variables, sin embargo, la intervención se centrará en el departamento encargado de la gestión de la logística y transporte del producto al cliente final dentro de la empresa. Esto incluye la estructuración de recorridos, la asignación del transporte adecuado a las necesidades de la empresa, control de rendimientos, eficiencia operativa y cualquier otro proceso relacionado con la logística de los productos.

Se utilizará información del sistema del distribuidor y por lo tanto se dependerá de la calidad y cantidad de datos de tráfico y geográficos disponibles.

Se concluirá con la entrega de un reporte con las eficiencias obtenidas para lograr un porcentaje de gasto total por debajo del 45% en el cual el costo de distribución se buscará que represente un 10% que se compone en su mayoría por el gasto de combustible 5%, mantenimientos 3%, llantas y otros 2%.

### **1.5. Validación de las condiciones de la intervención**

Durante la implementación del trabajo, existe una gran interés y disponibilidad por parte de la empresa y del distribuidor en proporcionar las herramientas necesarias para tener éxito en el proyecto. El contacto directo que se tendrá será el gerente de operaciones del distribuidor, esta persona es el encargado general de las diferentes sucursales, el mismo está capacitado y cuenta con el conocimiento e información necesaria para cumplir con el trabajo.

Para asegurarnos de que contamos con datos precisos y confiables, se realizó una revisión exhaustiva de los registros históricos de las rutas de distribución del distribuidor durante los últimos dos años. Se verifico que estos datos incluyen información detallada sobre la ubicación de los clientes, la solicitud de productos, los plazos en los que los

pedidos son entregados , las restricciones de los vehículos (como capacidad máxima y restricciones de tiempo), y los costos operativos asociados a cada ruta.

Además, se llevará a cabo una comparación entre los registros de rutas y los registros de entregas reales para identificar cualquier discrepancia. Esto permitirá corregir posibles errores en los datos y asegurar su confiabilidad. También se consultó a los responsables de la recopilación de datos y a los conductores de los vehículos para obtener su perspectiva sobre la calidad de los registros.

Después de esta validación, se asegura que los datos son precisos y confiables, lo que nos proporciona una base sólida para llevar a cabo la optimización de rutas en el estudio de investigación sobre la reducción de costos de distribución en el tiempo establecido.

Este trabajo se realizará a lo largo de 12 meses, durante el primer semestre se definirán los objetivos, delimitaciones, recopilación de datos históricos y se realizarán análisis detallados de los datos recopilados para diseñar el modelo de VRP específico para la empresa, así como la definición de los parámetros de optimización. Durante el segundo semestre se implementarán las soluciones de optimización de rutas en pruebas piloto y en condiciones reales de operación, así como realizar los ajustes y refinamientos según la retroalimentación y resultados obtenidos, se analizarán los resultados de la intervención y se documentarán conclusiones y se hará la preparación de la presentación de los resultados.

El gran interés que muestra el distribuidor en reducir sus costos mediante este proyecto facilita el trabajo debido a que existe disponibilidad y agilidad en el manejo de información.

### **1.5.1 Project Charter**

**Tabla 3**

*Project Charter: Visión General del Proyecto y Objetivos Clave*

PROJECT CHARTER	
Título del Proyecto:	OPTIMIZACIÓN DEL MODELO DE DISTRIBUCIÓN EN EL CANAL TRADICIONAL EN LA ETAPA DE LA ULTIMA MILLA PARA UNA EMPRESA DEDICADA A LA COMERCIALIZACIÓN DE SALUD Y CUIDADO PERSONAL : ENFOQUE EN EL PROBLEMA DE ENRUTAMIENTO DE VEHÍCULOS.
Descripción:	El objetivo es implementar una estrategia de optimización en la distribución en la última milla, específicamente dirigida al canal tradicional de entrega a "changarros". Se buscará eficientar la operación, reducir costos logísticos e incrementar la satisfacción del cliente mediante la implementación de un modelo de Problema de Rutas de Vehículos (VRP) adaptado a las particularidades de este canal.
Objetivos del Proyecto:	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Encontrar las rutas optimas que debe seguir cada vehículo.</li> <li>b. Mejorar la utilización de vehículos de reparto.</li> <li>c. Optimizar los tiempos de entrega y cumplir con ventanas de tiempo acordadas.</li> <li>d. Implementar un modelo de VRP adaptado al canal tradicional.</li> <li>e. Evaluar el impacto en la reducción de costos operativos.</li> </ul>
Alcance del Proyecto:	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Identificación y recopilación de datos actuales sobre la distribución en la última milla.</li> <li>b. Diseño y adaptación de un modelo de VRP.</li> <li>c. Implementación de la estrategia de optimización en una fase piloto (un distribuidor).</li> <li>d. Evaluación y análisis del desempeño antes y después de la intervención.</li> <li>e. Desarrollo de recomendaciones para la implementación a escala completa.</li> </ul>
Justificación del Proyecto:	La distribución en la última milla actual se basa en métodos empíricos, lo que lleva a ineficiencias operativas y mayores costos logísticos. La implementación de un modelo de VRP proporcionará una metodología sistemática y basada en datos para mejorar la planificación de rutas, reducir la distancia recorrida y, por ende, optimizar los recursos.
Stakeholders del Proyecto:	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Equipo de Distribución.</li> <li>b. Choferes y Personal de Entrega.</li> <li>c. Departamento de Logística.</li> <li>d. Gerencia de Operaciones.</li> <li>e. Clientes (changarros).</li> </ul>

Hitos y Cronograma:	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Semanas 1-4: Definición de objetivos, entrevista con stakeholders y recopilación de datos actuales.</li> <li>b. Semanas 4-5: Selección, diseño y adaptación del modelo de VRP.</li> <li>c. Semanas 5-8: Implementación en fase piloto.</li> <li>d. Semanas 8-9: Evaluación del desempeño y ajustes necesarios.</li> <li>e. Semanas 9-10: Desarrollo de recomendaciones y presentación.</li> </ul>
Presupuesto estimado:	Se asignará un presupuesto para la adquisición de herramientas de software especializado, entrenamiento del personal y posibles ajustes en la flota de vehículos para adaptarse al nuevo modelo de distribución.
Riesgos y Mitigaciones:	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Riesgo: Negación del personal para realizar los camios. Mitigación: Implementar programas de capacitación y sensibilización.</li> <li>b. Riesgo: Problemas técnicos en la implementación del modelo de VRP. Mitigación: Contar con un equipo técnico de soporte y realizar pruebas exhaustivas antes de la implementación completa.</li> </ul>
Métricas de éxito:	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Reducción del 10% en la distancia total recorrida.</li> <li>b. Aumento del 5% en la eficiencia en la utilización de vehículos.</li> <li>c. Cumplimiento del 90% de las ventanas de tiempo acordadas.</li> <li>d. Reducción del 10% en los costos operativos asociados a la distribución en la última milla.</li> </ul>

*Nota.* Project Charter que detalla los objetivos, alcance, y cronograma del proyecto de optimización del modelo de distribución en la última milla, con un enfoque en la eficiencia operativa y la reducción de costos. Fuente: Elaboración propia.

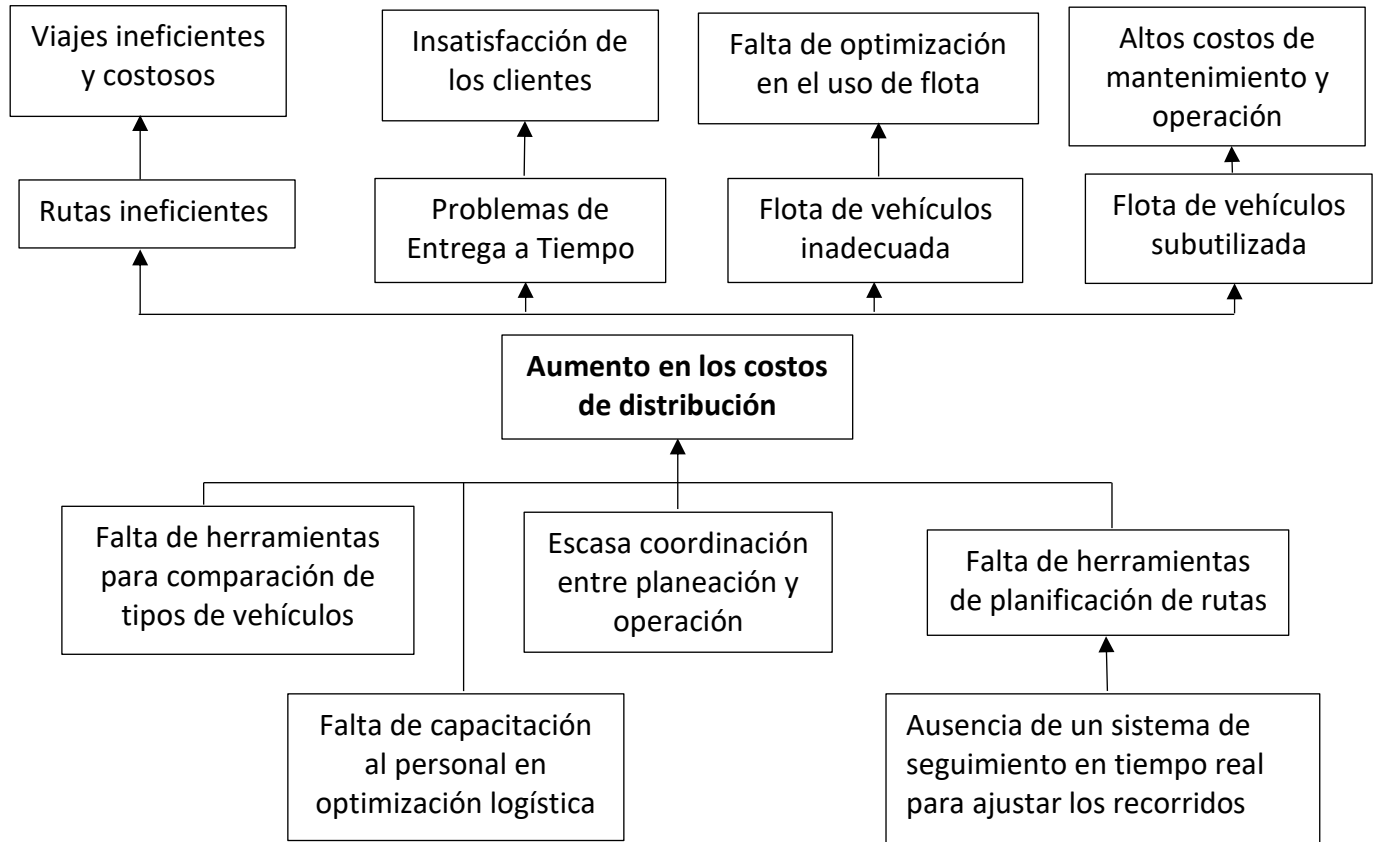
## 1.6. Diagnóstico preliminar: primera hipótesis

Los distribuidores de la empresa en la que se está realizando la intervención cuentan con una amplia red de clientes minoristas, como tiendas de abarrotes y pequeños supermercados, a lo largo de una región metropolitana. Desde el inicio del proyecto, algunos de los distribuidores han enfrentado un aumento sostenido en los costos de distribución, especialmente en el proceso logístico de entrega de mercancía al cliente final, lo que ha impactado negativamente en su margen de ganancia y competitividad en el mercado.

Después de un diagnóstico de como labora actualmente la empresa y sus operaciones de distribución, se han identificado varios problemas clave relacionados con la gestión de la distribución en el canal tradicional, los cuales se presentan en el siguiente diagrama:

## Figura 2

Diagrama de árbol de las principales causas de las problemáticas en la distribución.



*Nota.* Diagrama de árbol que ilustra las causas principales y sub-causas de los problemas identificados en la distribución en la última milla, destacando la falta de herramientas de planificación, ineficiencia en la utilización de vehículos, y problemas de sincronización en la entrega. Fuente: Elaboración propia.

**Rutas Poco Eficientes:** Se utiliza rutas preestablecidas que no se ajustan a las demandas cambiantes de los clientes ni a las condiciones del tráfico, lo que resulta en viajes ineficientes y costosos.

**Problemas de Entrega a Tiempo:** Los distribuidores han enfrentado dificultades para cumplir con las entregas a tiempo, lo que ha generado insatisfacción entre los clientes y ha impactado en su relación a largo plazo.

**Flota de Vehículos Subutilizada:** No se ha optimizado adecuadamente el uso de su flota de vehículos, lo que ha resultado en altos costos de mantenimiento y operación.

**Flota de Vehículos inadecuada:** Debido a la falta de métricas, los distribuidores no están seguros de que los vehículos que utilizan son óptimos para el tipo de modelo de distribución que tienen.

Basados en este diagnóstico preliminar, la primera hipótesis de este trabajo de investigación es que la utilización de estrategias de optimización de rutas basadas en el Vehicle Routing Problem (VRP) en el contexto de la distribución en el canal tradicional permitirá reducir los costos operativos de la empresa entre un 5% y un 10% en los próximos 12 meses.

Esta hipótesis se formula considerando que la aplicación de enfoques de VRP, que buscan optimizar la asignación de rutas y la gestión de inventario, tiene el potencial de abordar los problemas identificados en el diagnóstico preliminar y, por lo tanto, reducir significativamente los costos de distribución en el canal tradicional. Este trabajo se realizará para evaluar y validar esta hipótesis en el contexto específico de la empresa y su canal de distribución.

## **1.7. Objetivos de la intervención**

### **Modelo SMART**

Objetivo 1:

Específico: Desarrollar un modelo de operación para la optimización de rutas en la última milla basado en el Vehicle Routing Problem (VRP).

Medible: Evaluar la eficiencia del modelo a través de la reducción de costos operativos y el tiempo de entrega.

Alcanzable: Implementar el modelo en una fase piloto en un distribuidor seleccionado.

Relevante: Disminuir el gasto operativo y aumentar la satisfacción del cliente.

Límite de tiempo: Completar el desarrollo y la implementación del modelo en 6 meses.

Objetivo 2:

Específico: Implementar un proceso de seguimiento en tiempo real para ajustar recorridos y visitas dependiendo del tráfico y demandas de los clientes.

Medible: Seguimiento constante y ajustar recorridos en el momento, con una meta de mejorar la puntualidad de las entregas en un 10%.

Alcanzable: Instalar dispositivos GPS en todos los vehículos de distribución y capacitar al personal en su uso.

Relevante: Asegurar entregas puntuales y mejorar la satisfacción del cliente.

Límite de tiempo: Implementar el sistema en 1 mes.

Objetivo 3:

Específico: Desarrollar un método eficiente para la selección de vehículos de acuerdo con las necesidades de demanda, capacidad de carga y restricciones de tiempo.

Medible: Reducir la subutilización de la flota en un 10%.

Alcanzable: Implementar algoritmos de optimización y realizar capacitaciones.

Relevante: Optimizar el uso de la flota de vehículos.

Límite de tiempo: Completar el desarrollo y la implementación en 5 meses.

## 1.8. Relevancia y pertinencia del trabajo

La implementación de esta investigación en la eficiencia de recorridos y gestión de las unidades tiene una relevancia significativa para la organización mediante varios puntos clave:

- **Disminución de Costos Operativos:** La mejora de rutas basada en el Vehicle Routing Problem (VRP) permitirá a la empresa reducir costos operativos en la última milla de distribución, aumentando así, la estabilidad financiera.
- **Aumento en la Satisfacción del Cliente:** Al asegurar entregas en tiempo y forma, se espera un aumento en la satisfacción del cliente. Estudios han demostrado que la puntualidad y la precisión en las entregas son factores críticos para la lealtad del cliente.
- **Sostenibilidad Ambiental:** La mejora en los recorridos no solo disminuye costos, sino también la huella de carbono al disminuir las distancias recorridas por los vehículos de distribución. Esto alinea los objetivos de la empresa con las tendencias globales hacia operaciones más sostenibles

La investigación está directamente alineada con las metas deseables de la compañía de mejorar la eficiencia operativa, reducir costos y aumentar la sostenibilidad. La empresa ha identificado la optimización de la última milla como una prioridad estratégica para mantener su competitividad en el mercado .

## CAPÍTULO 2

### Marco conceptual de referencia

#### 2.1. Estado de la cuestión

En la dinámica cambiante del mundo de la logística y la distribución, la eficiencia en la etapa conocida como la "última milla" se ha vuelto crucial. Este término se refiere al tramo final del proceso de entrega, donde los productos viajan desde un centro de distribución hasta el destino final, ya sea un hogar, una tienda o una empresa. En este contexto, el Vehicle Routing Problem (Problema de Enrutamiento de Vehículos, VRP) se convierte en un instrumento clave para enfrentar los problemas de optimización que surgen en la última milla.

Lozada y Cadena en su trabajo de investigación en el punto 2.4 "El problema de ruteo de vehículos" mencionan que "la actividad de distribución de bienes y servicios entre almacenes o centros de distribución es la que se modela en los problemas de enrutamiento de vehículos o VRP ya que este pertenece a la clase de problemas NP-Hard y se utilizan una serie de técnicas combinatorias para optimizar y solucionar" (Lozada Díaz & Cadena González, 2012).

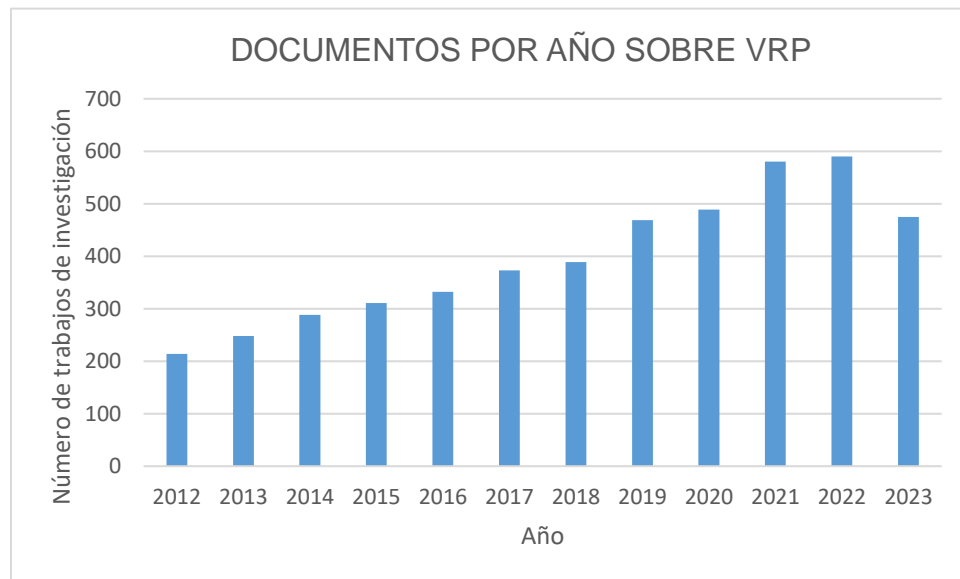
El VRP es una cuestión de optimización muy estudiado y empleado en logística, cuyo objetivo principal es determinar la manera más eficiente de asignar vehículos y planificar las rutas de entrega para cumplir las solicitudes de un grupo de clientes, minimizando costos como el recorrido total, tiempo de trabajo y los recursos utilizados. La relación entre el proceso de la última milla y el VRP es innegable, ya que el VRP proporciona las herramientas necesarias para abordar los desafíos logísticos que caracterizan esta etapa crucial.

En este apartado se muestra el análisis de los trabajos de investigación, los enfoques y las alternativas desarrolladas en los últimos años para aumentar la eficiencia en esta fase crítica de la distribución. Estos datos se extraen de la base de datos *EBSCOhost*, la

cual es una plataforma que ofrece acceso a una extensa colección de base de datos académicas que cubren una variedad de disciplinas, incluyendo revistas académicas, libros electrónicos, informes técnicos y más. EBSCO cuenta actualmente con más de 435,000 títulos académicos de libros electrónicos adicional cuenta con una gran cantidad de títulos de revistas y trabajos de investigación (EBSCO, 2023).

### Figura 3

*Documentos académicos sobre VRP en los últimos 10 años.*

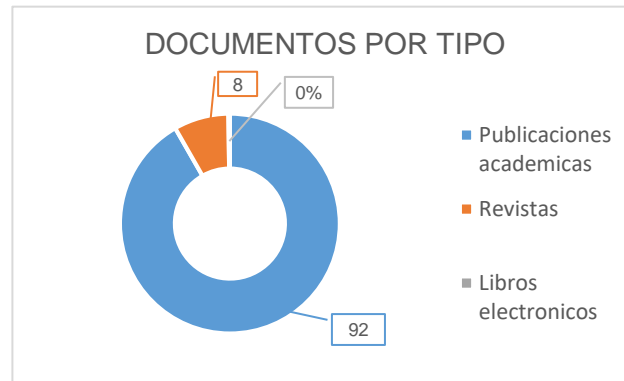


*Nota.* Gráfico que muestra la cantidad de documentos académicos publicados sobre el Problema de Enrutamiento de Vehículos (VRP) en los últimos 10 años. Adaptado de (EBSCO, 2023)

Como se puede ver en la Figura 3, existe un incremento exponencial importante acerca del enfoque en el estudio del VRP, esto se debe en gran parte a su relevancia en la reducción de costos operativos y la mejora de la eficiencia en las operaciones de distribución y transporte.

## Figura 4

*Tipo de documentos sobre VRP por título en los últimos 10 años (EBSCO, 2023).*



*Nota.* Gráfico que muestra la distribución de documentos sobre el Problema de Enrutamiento de Vehículos (VRP) por título en los últimos 10 años. Fuente: (EBSCO, 2023).

En la Figura 4, se observa un dato muy importante el cual nos dice que el estudio del VRP es un tema de alta relevancia e interés en la comunidad académica. Esto significa que los investigadores consideran que el tema es importante y merece atención, así mismo se ha acumulado un cuerpo significativo de conocimiento en este campo y se encuentra en constante evolución.

Los trabajos de investigación analizados presentan diferentes desafíos, problemáticas y a su vez múltiples soluciones utilizando diferentes métodos. Autores como Iván D. García aseguran que una buena planeación en el ruteo de vehículos puede significar un ahorro de hasta el 20% del costo total de transporte y entre un 10% y un 20% del gasto total de las mercancías (García, 2010). Grasas y Ramalinho plantean que debido a la complejidad y tamaño que puede llegar a tener el VRP, es necesario recurrir a métodos heurísticos para lograr una solución óptima ya que una heurística al ser un método computacional puede resolver problemas relativamente grandes (Grasas & Ramalinho, 2016). De igual forma, Álvarez Hernández utiliza métodos heurísticos para darle solución al problema de enrutamiento, en específico, estos autores emplean la heurística

propuesta por Clarke and Wright la cual depende de la forma y variables del problema y que según Ronald H. Ballou busca “minimizar la distancia e indirectamente el número de vehículos utilizados para lograr atender a todos los clientes” (Álvarez Hernández, 2017) (Ballou, 2004).

Existen a su vez diferentes trabajos de investigación que analizan el VRP con sus diferentes variables, algunos como el que describen Sadati, Akbari y Catay sobre VRP con entregas flexibles y ventanas de tiempo, en el cual mediante un modelo matemático y la técnica meta heurística de búsqueda local guiada por variable logran cumplir con la satisfacción del cliente utilizando las menos unidades posibles así mismo, recorriendo la menor distancia (Sadati, Akbari, & Çatay, 2022). De igual forma Lozada y Cadena, buscan una alternativa para resolver el problema de enrutamiento con restricciones de ventanas de tiempo (VRPTW) mediante métodos heurísticos teniendo como función objetivo el costo total el cual se logra disminuir utilizando las heurísticas de inserción de Solomon, estos autores mencionan que los problemas de enrutamiento “se debe buscar minimizar la distancia recorrida satisfaciendo la demanda de los clientes junto con sus restricciones” (Lozada Díaz & Cadena González, 2012) (Solomon, 1987).

Por otro lado, existen diversos estudios sobre el problema de enrutamiento considerando restricciones de capacidad (CVRP). Dávila Vélez plantea que esta variante del VRP consiste en atender la demanda de un número específico de clientes que se encuentran distribuidos en diferentes puntos geográficos y debido a su complejidad varios autores proponen utilizar técnicas heurísticas que se aproximen a una solución óptima (Dávila Vélez, 2013). El estudio de Tarazona Galán y Neira Parra (2020) logra desarrollar una herramienta que permite analizar el número de rutas necesarias para lograr atender a todos sus clientes optimizándolas y teniendo en cuenta la restricción de capacidad (Tarazona Galán & Neira Parra, 2022).

Gil, González et al (2020) realizan un análisis bibliométrico con técnicas cualitativas y cuantitativas basadas en el impacto de diferentes documentos de estudio y llegan a la

conclusión de que el método heurístico con una búsqueda local arroja el resultado que más se acerca al ideal para el CVRP (Gil, y otros, 2020).

Como se puede observar existe una gran cantidad de estudios relacionados con el VRP y sus diferentes variables, en seguida se presenta una tabla con 10 trabajos de investigación existentes y sus principales resultados relacionados con el tema abordado en este trabajo.

**Tabla 4**

*Trabajos de investigación enfocados en la solución al VRP.*

Trabajo	Título	Variable de VRP	Principales Resultados
(Rastani & Çatay, 2023)	A large neighborhood search-based matheuristic for the load-dependent electric vehicle routing problem with time windows	VRPTW	Definen la importancia del peso de la carga puede crear grandes cambios en la ruta así como en el tamaño de la flota y descuidarlo puede causar grandes interrupciones en el servicio y aumentar costos.
(Sadati, Akbari, & Çatay, 2022)	Electric vehicle routing problem with flexible deliveries	VRPFD-TW	Logran dar solución al VRP con entregas flexibles y ventanas de tiempo, atendiendo a todos sus clientes mientras minimizan la distancia total recorrida y al mismo tiempo minimizando el número de vehículos utilizados.
(Liu, Qin, & Liu, 2023)	An Improved Genetic Algorithm for the Granularity-Based Split Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pickup.	SVRPSDP	Comprueban que mediante un algoritmo híbrido simulado genéticamente se puede lograr costos totales de rutas más bajos en comparación con los metaalgoritmos tradicionales
(Zhang, Pratap, Zhao, Prajapati, & Huang, 2021)	Forward and reverse logistics vehicle routing problems with time horizons in B2C e-commerce logistics.	MVRPSPDTW	Minimizan el costo total de transporte y la penalización debida al retraso por parte de los proveedores logísticos utilizando algoritmos metaheurísticos y algoritmos genéticos.
(Alesiani, Ermis, & Gkiotsalitis, 2022)	Constrained Clustering for the Capacitated Vehicle Routing Problem (CC-CVRP)	CVRP	Demuestran como el solucionador constreñido para agrupar de enrutamiento de vehículos con capacidad (CC-CVRP) reduce la complejidad asociada a la solución del CVRP y permite resolver problemas muy extensos en segundos con brechas de optimización de menos del 16%.
(Adhitama & Kurniawati, 2023)	Development of Ant Colony Optimization Algorithm for Green Capacitated Vehicle Routing Problem	GCVRP	Utilizando el algoritmo de optimización de colonia de hormigas logran reducir la emisiones de carbono generadas por la flota de vehículos un 38.53%
(Zhu & Hu, 2019)	Study on the vehicle routing problem considering congestion and emission factors	TD-GVRP	Muestran que el consumo de combustible se puede reducir considerablemente introduciendo el factor de consumo de combustible en la función objetivo. Así mismo, revelan que la optimización del tiempo de salida puede reducir el consumo de combustible y el costo total
(Eglese, Letchford, & Lysgaard, 2004)	A new branch-and-cut algorithm for the capacitated vehicle routing problem	CVRP	Demuestran mediante la resolución de 3 instancias que el algoritmo que desarrollan es competitivo para solucionar el VRP con capacidad.
(Ho, Szeto, & Wu, 2011)	An artificial bee colony algorithm for the capacitated vehicle routing problem	CVRP	Mejoran la heurística de colonia de abejas superando a la original.
(Laporte, Louveaux, & van Hamme, 2002)	An integer L-shaped algorithm for the capacitated vehicle routing problem with stochastic demands	CVRP	Minimizan el costo total de las rutas planificadas así como el número de fracasos esperados.

*Nota.* Resumen de trabajos de investigación que se enfocan en la solución del VRP y sus diferentes variables. Fuente: Elaboración propia.

Como resumen, los problemas más relevantes que se han identificado en estos trabajos de investigación son los siguientes:

- Mejora de recorridos: Ésta es un área activa de investigación para disminuir los kilómetros recorridos y aumentar la eficiencia de las entregas en la última milla. La planificación de rutas eficientes es esencial, pero puede ser complicado debido a la variabilidad de la demanda y las limitaciones geográficas. Se han desarrollado algoritmos y modelos matemáticos para abordar este problema.
- Tiempos de entrega y ventanas de tiempo: La investigación se ha centrado en cómo gestionar ventanas de tiempo de entrega y garantizar entregas puntuales, incluso en entornos dinámicos.
- El costo logístico generado cuando no se cuenta con una flotilla propia. Como optimizas para mandar la mayor cantidad de tu producto empleando el menor número de recursos para pagar lo menor posible.
- Normativas y regulaciones sobre las unidades de transporte: Las restricciones de tráfico, las zonas de bajas emisiones, las normativas de seguridad y otros aspectos regulatorios como el acceso de cierto tipo de vehículo en ciertas áreas pueden dificultar la entrega en la última milla.
- Altas emisiones de carbón generadas: la transportación de mercancía mediante vehículos es un proceso que genera altas emisiones y más cuando se tiene un proceso ineficiente y no se cuenta con la flota adecuada.

Como se pudo observar, todo se resume al desafío de definir rutas para la distribución, este gran conflicto ha sido un objeto de estudio ampliamente investigado en el campo de la optimización, la logística y la investigación operativa.

## **Mapeo del Flujo de Valor (Value Stream Mapping, VSM)**

El Mapeo del Flujo de Valor (Value Stream Mapping, VSM) ha venido siendo una técnica esencial en la metodología Lean Manufacturing que se emplea para analizar y diseñar los movimientos de materiales y la transferencia de información necesaria para trasladar un bien o servicio desde su desarrollo inicial hasta el consumidor final. Esta herramienta, desarrollada a partir del sistema de producción de Toyota, permite a las organizaciones visualizar el estado actual de sus procesos y planificar mejoras para alcanzar un estado futuro más eficiente (Rother & Shook, 1999).

Conceptos Clave del VSM:

- **Identificación de Actividades que Agregan Valor:** En el VSM, se distingue entre las actividades que añaden valor según el cliente y aquellas que no lo hacen. Las actividades que transforman el producto o servicio de manera que el cliente percibe como valiosa son consideradas actividades que agregan valor.
- **Eliminación de Desperdicios (Muda):** El objetivo principal del VSM es identificar y eliminar los desperdicios, conocidos como muda. Estos desperdicios pueden incluir esperas innecesarias, transportes superfluos, exceso de inventario, y reprocesos, entre otros.
- **Representación Visual:** El VSM utiliza diagramas visuales para representar los flujos de trabajo y las interacciones entre las distintas etapas del proceso. Esta representación facilita encontrar problemas y posibles mejoras, así como la comunicación de estos hallazgos a toda la organización.
- **Análisis del Estado Actual y Futuro:** El VSM se crea en dos etapas: el estado actual del proceso y el estado futuro deseado. Comparando ambos mapas, se pueden identificar los cambios necesarios para aumentar la productividad y disminuir tiempos de ciclo y lead time.

En el presente proyecto se utilizará el método de VSM (Value Stream Mapping) como un componente esencial para analizar y optimizar los procesos dentro de la distribución.

## 2.2. Conceptos y enfoques teóricos relacionados

El canal tradicional en México es un sector importante en la economía debido a la gran cantidad de establecimientos que existen, actualmente, más de un millón distribuidos en todo el territorio nacional (INEGI, 2023). Los ingresos por suministro de bienes al por menor, a tasa anual avanzaron 5.2% contra el año anterior (INEGI, 2023), lo que significa que es un medio que tiende a tener cada vez más participantes.

Un distribuidor del canal tradicional desempeña un papel fundamental para las compañías que se dedican a producir y vender bienes de consumo masivo ya que actúan como enlace para llegar a los consumidores finales, facilitan la expansión del mercado sin la necesidad de establecer su propia infraestructura de ventas, brindan una atención al cliente más personalizada y rápido, aumentando la conformidad del cliente y fomentando la fidelidad. Para muchas empresas resulta muy atractivo distribuir su producto por este medio y poder aumentar cada vez más su competitividad en el mercado.

Por esta razón, los distribuidores deben asegurar el incremento en la eficiencia es sus procesos de gestión para de esta forma lograr mantenerse dentro de los mejores, así mismo, asegurar su viabilidad financiera a largo plazo y continuar ofreciendo sus servicios a las empresas fabricantes. Para evaluar esta eficiencia es importante hacer un análisis de costes (Sadkowski & Jedynak, 2022), el cual es esencial para la gestión financiera eficiente y la toma de decisiones sólidas.

Según Michael Porter, es posible mejorar la competitividad de una empresa al optimizar su cadena de valor y diferenciarse en términos de costos o de propuesta de valor, así mismo, deben comprender como se generan y distribuyen los costos en sus actividades y procesos, identificando áreas para incrementar la eficiencia y disminuir los gastos, lo que a su vez puede conducir a una posición más sólida en el mercado (Porter, 1985).

La logística de un bien es uno de los procesos primarios en la cadena de valor de un distribuidor, pero de igual que generan un gran costo a la empresa y en donde pueden existir un gran número de ineficiencias. Existen varios factores que pueden influir en el incremento de los costos, entre ellos se pueden considerar el diseño de rutas; el cual se enfoca en mejorar las rutas para un grupo de unidades y de esta forma conseguir reducir la distancia y tiempo recorrido o lograr un costo menor (Ballou, 2004); la capacidad de los vehículos para transportar carga y el rendimiento y costo por kilómetro que generan los vehículos en sí.

José Fernández en su e-libro “Introducción a la gestión de flotas de vehículos” dice que para una buena gestión de flotillas se deben considerar aspectos clave como describir y/o definir las metas estratégicas y requisitos esenciales de la compañía, calcular un número óptimo de vehículos, una selección adecuada de vehículos considerando eficiencia de gasolina, capacidad de transporte y costos de mantenimiento, optimización de rutas, establecer programas de mantenimiento, realizar un seguimiento y monitoreo, entre otros (Fernández, 2016).

Una buena gestión de flotilla es un proceso continuo. La adaptación y mejora constante son esenciales para optimizar la eficiencia y reducir los costos operativos.

El VRP difundido por Dantzing y Ramser, es una de las más importantes complejidades de optimización en la logística y distribución de productos debido a la complejidad de determinar cuáles son las opciones más óptimas para transportar mercancía de un punto a otro generando un mínimo costo (Dantzig & Ramser, 1959). El VRP es un problema de decisión en el que se debe determinar la ruta óptima para un grupo de vehículos que deben cumplir con las solicitudes de un conjunto de clientes desde una ubicación central (almacén) y regresar al mismo, minimizando ciertas variables objetivo, generalmente la distancia recorrida o el tiempo empleado. Los elementos clave del VRP se centran en tener un punto de partida de los vehículos (almacén), los lugares que deben ser atendidos (clientes), los vehículos disponibles con los que cuenta la empresa para realizar las entregas, la carga que puede llevar la unidad (demanda), la capacidad

máxima de carga que puede transportar cada vehículo, las distancias o costos asociados a las rutas entre el almacén y los clientes.

El VRP surgió como consecuencia del Problema del Vendedor Viajero, el cual fue difundido por Merrill Flood en 1956. En el TSP, un vendedor viajero debe visitar un conjunto de ciudades exactamente una vez y regresar a su ciudad de origen, minimizando la distancia total recorrida, esto implica encontrar la ruta más corta o costo mínimo (Flood, 1956). De la necesidad de abordar problemas similares, pero en enrutamientos logísticos, surge el VRP. Existen diferentes variantes dentro de este problema de enrutamiento que tienen que ver con las restricciones de la compañía (Farahani, Rezapour, & Kardar, 2011):

- VRP por Capacidad (Ralphs, Hartman, & Galati, 2001). Se busca determinar la mejor manera de asignar el transporte con capacidad restringida para la distribución de productos.
- VRP de múltiples depósitos (Hjorring, 1995). En esta variante se tienen varios almacenes o depósitos desde los cuales los vehículos pueden comenzar y terminar sus rutas.
- VRP Periódico (Baptista, Oliveira, & Zúquete, 2002). Se centra en la planificación de rutas en un horario periódico o recurrente.
- VRP de entrega dividida (Dror, Laporte, & Trudeau, 1994). En esta variante se permite dividir una parte de la carga destinada a un cliente en múltiples entregas en lugar de entregar todo en una sola visita.
- VRP Estocástico (Laporte & Louveaux, 1998): Se tiene en cuenta la incertidumbre en las variables del problema, es decir, los valores pueden ser aleatorios o estar sujetos a variabilidad.
- VRP con devoluciones (Jacobs-Blecha & Goetschalckx, 1992): Involucra tanto la entrega de productos a clientes como la recolección de mercancía no deseados por los mismos.

- VRP con recogida y entrega (Righini, 2000): Es la planificación de las rutas para realizar tanto entregas como recogidas en múltiples ubicaciones.
- VRP con instalaciones satelitales (Bard, Huang, Dror, & Jaillet, 1997): En esta variante se incorporan instalaciones satelitales en la planificación de las rutas, las cuales actúan como puntos de transferencia o consolidación.
- VRP con Ventanas de Tiempo (Cordeau, Desaulniers, Desrosiers, Solomon, & Soumis, 2002): Existen restricciones de tiempo en las cuales se deben realizar las entregas de los clientes y los vehículos deben llegar dentro de esta ventana de tiempo permitida.

Para la solución del Problema de Enrutamiento de Vehículos con sus diferentes variantes, existen una gran cantidad de técnicas, entre las cuales destacan las siguientes:

- Técnicas Meta heurísticas: Son enfoques de optimización que se utilizan para resolver problemas difíciles de manera más eficiente. Estas técnicas son algoritmos de búsqueda heurística que proporcionan soluciones de alta calidad en un tiempo razonable. Algunas de las técnicas meta heurísticas comunes utilizadas para abordar el VRP incluye:
  - Algoritmos Genéticos: Estos algoritmos trabajan con una población de soluciones candidatas y aplican operadores de selección, cruce y mutación para generar nuevas soluciones (Pereira & Tavares, 2009).
  - Búsqueda Tabú: Utiliza una lista tabú para evitar la exploración repetida de soluciones previamente visitadas y explora el espacio de búsqueda de manera más diversificada (Jia, Li, Dong, & Ya, 2013).
  - Algoritmos de Colonia de Hormigas: Se basan en el comportamiento real de las hormigas para encontrar rutas eficientes, utilizando la comunicación entre sí para guiar la búsqueda (Ding, Hu, Sun, & Wang, 2012).
  - Búsqueda local guiada por variable: Combina la búsqueda local con estrategias de exploración de vecindarios cambiantes de manera

consecuente para mejorar las soluciones (Khouadjia, Sarasola, Alba, Jourdan, & Talbi, 2012)

- Búsqueda local iterativa: Combina la exploración de vecindarios locales con iteraciones para mejorar progresivamente una solución inicial (Michallet, Prins, Amodeo, Yalaoui, & Vitry, 2014).
- Técnicas Heurísticas: Son métodos o algoritmos de solución aproximada, no garantizan encontrar la solución óptima. Se basan en reglas prácticas y estrategias intuitivas para generar soluciones de alta calidad en un tiempo razonable. Existen varios algoritmos:
  - De dos fases: Se dividen en dos etapas o fases distintas para abordar problemas complejos de manera más eficiente, la más común es la de agrupar primero y hacer la ruta después (Pisinger & Ropke, 2007).
  - Constructivas: Se construye una solución sin dejar de lado el costo que conlleva, pero sin un periodo de mejora (Toth & Vigo, 2002).
  - De mejoramiento: Se enfoca en mejorar o actualizar la solución con un número de intercambios (Toth & Vigo, 2002).
- Técnicas exactas: Este método minimiza la función objetivo sin compromisos ni aproximaciones. Garantizan que la solución encontrada es la mejor posible y solo son factibles para instancias pequeñas o con un número limitado de clientes. Algunos de estos métodos incluyen:
  - Programación lineal entera: Se busca una asignación de vehículos a rutas y clientes de manera que se minimice la función objetivo sujeta a restricciones específicas (Laporte & Nobert, 1987).
  - Programación dinámica: Busca encontrar el mínimo costo con una función que puede aplicarse indefinidamente (Laporte, 1992).
  - Búsqueda de árbol: Incorpora cortes para reducir la búsqueda de soluciones factibles para construir de forma secuencial las rutas (Laporte & Nobert, 1987).

Para la esquematización y modelación de los sistemas de transporte como lo son las rutas de los vehículos, redes de carreteras y planificación de rutas de entrega existe la Teoría de Grafos ya que permite ver las relaciones entre ubicaciones de los clientes, almacenes y vehículos. Esta teoría se inició por

Un grafo es una estructura matemática que consiste en un conjunto de nodos (también llamados vértices) y un conjunto de aristas (también llamados bordes) que conectan estos nodos (Kumar & Pattnaik, 2018). Los grafos se utilizan para representar relaciones y conexiones entre diferentes elementos en una variedad de aplicaciones. Algunos conceptos básicos relacionados con los grafos son:

- **Nodos (Vértice):** En un punto en un grafo, puede representar un elemento o ubicación. Cada nodo puede estar conectado mediante aristas.
- **Arista (Borde):** Es una línea que conecta o une a dos nodos en un grafo. Pueden ser direccionales (un solo sentido) o no direccionales (doble sentido).
- **Grafo Dirigido:** Las aristas tienen una dirección específica, es decir, van desde un origen hacia un destino.
- **Grafo No Dirigido:** Las aristas no tienen una dirección específica y conectan dos nodos sin distinguir entre origen y destino.

Para el problema de VRP, los nodos de un grafo representan una ubicación, ya sea un cliente, un almacén o una ubicación de inicio o fin de ruta. Las aristas representan las conexiones entre estas ubicaciones y las distancias o tiempos de viaje asociados.

La teoría de grafos es fundamental en la resolución del problema de enrutamiento de vehículos y sus variantes, aparte de representar las redes de transporte, proporciona más herramientas para encontrar rutas óptimas, permite adaptar las diferentes variables, ayuda a identificar patrones y estructuras en los datos del VRP y generar estrategias de optimización.

El darle una resolución óptima al VRP, conlleva una serie de ventajas significativas que no solo benefician a la empresa en la reducción de costos y productividad, si no también

puede tener un impacto positivo en el medio ambiente y en la satisfacción del cliente. La reducción del tiempo en circulación y distancia de los vehículos trae consigo una reducción significativa de emisiones de carbono y se contribuye a la sostenibilidad ambiental.

### 2.3. Análisis de referencia para el cambio

A continuación, se muestra una matriz de marco lógico para abordar el problema de optimización de costos de la última milla utilizando el VRP.

**Tabla 5**

*Matriz del Marco Lógico: Objetivos, Indicadores y Medios de Verificación.*

RESUMEN NARRATIVO DE OBJETIVOS	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	SUPUESTOS
Fin: Mejorar significativamente la eficiencia operativa y la rentabilidad de las operaciones de entrega de la última milla, así como contribuir a la sostenibilidad ambiental reduciendo la huella de carbono al eficientar el número de vehículos utilizados.	1. ROE 2. Reducción porcentual en el número de vehículos utilizados en la última milla. 3. Porcentaje de reducción en el consumo de combustible y otros recursos clave.	1. Cálculo del ROE antes y después de la implementación del proyecto. 2. Registros de flote de vehículos antes y después del proyecto y datos de tráfico local. 3. Registro de consumo antes y después del proyecto.	1. Se asume que se contará con la información financiera para el cálculo del ROE. 2. Se tiene información histórica cuanto se consume de gasolina y gasto del transporte para evaluar el rendimiento.
Propósito: Incrementar la eficiencia y la rentabilidad de las operaciones de entrega de la última milla, al mismo tiempo que se mejora la satisfacción del cliente y se reduce	1. Reducción de costos logísticos: Porcentaje de reducción de los costos logísticos totales de la organización después de la implementación del proyecto.	1. Informe de costos logísticos: Informe financiero que muestra los costos logísticos antes y después de la implementación del proyecto.	1. La implementación de las soluciones piloto y las mejoras propuestas en el proyecto se llevarán a cabo según lo planificado. 2. Los datos utilizados

de manera sostenida el costo logístico de la organización.	<p>2. Tiempo promedio de entrega: Reducción del tiempo promedio de entrega de los productos en la última milla.</p> <p>3. Satisfacción del cliente: Índice de satisfacción del cliente con respecto a la entrega de productos.</p> <p>4. Eficiencia operativa: Mejora en la eficiencia operativa, medida a través de la productividad de los conductores y la utilización de vehículos.</p>	<p>2. Registro de tiempos de entrega: Registros de tiempos de entrega reales comparados con los tiempos previos al proyecto.</p> <p>3. Cálculo de % de satisfacción de cliente mediante información estadística.</p> <p>4. Informe de eficiencia operativa: Datos de productividad de los conductores y la utilización de vehículos, comparado antes y después del proyecto.</p>	<p>para evaluar los indicadores son precisos y confiables.</p> <p>3. Suponemos no habrá cambios significativos en las condiciones del mercado o en la demanda de los productos entregados que puedan afectar negativamente los resultados.</p> <p>4. El equipo y los recursos necesarios estarán disponibles para la implementación y seguimiento del proyecto.</p>
--	---	--	---

<p>Componentes:</p> <p>1. Identificación del problema.</p> <p>2. Desarrollo de soluciones.</p> <p>3. Implementación de solución Piloto.</p> <p>4. Evaluación y Ajustes.</p>	<p>1. Documentación completa del problema de optimización de costos de la última milla, incluyendo las restricciones y requerimientos.</p> <p>2. Identificación y diseño de la técnica de solución al VRP y/o algoritmo a utilizar.</p> <p>3. Implementación exitosa de la solución piloto en una zona de entrega seleccionada.</p> <p>4. Evaluación de la solución piloto y ajustes realizados según los resultados obtenidos.</p>	<p>1. Informes y análisis de datos del proceso de entrega existente, así como una descripción detallada de las restricciones y necesidades específicas.</p> <p>2. Documentación de propuesta de solución, incluyendo rutas de entrega, horarios, y estrategias para mejorar la eficiencia.</p> <p>3. Informes de seguimiento de la implementación piloto, incluyendo datos de costos reducidos, tiempos de entrega mejorados y comentarios de los conductores.</p>	<p>1. Hay información de datos históricos sobre las entregas pasadas, incluyendo tiempos de entrega y costos asociados.</p> <p>2. Se podrá entrevistar a los conductores y personal de logística para obtener información sobre desafíos y áreas de oportunidad.</p> <p>3. Se asume que las gerencias aprobarán las soluciones propuestas y asignarán los recursos necesarios.</p> <p>4. Existirán vehículos y personal disponibles para llevar a cabo la implementación piloto en una zona de entrega seleccionada.</p>
---	---	--	--

		<p>4. Informes de evaluación que muestren una disminución considerable en los costos de la última milla y un aumento en la eficiencia de la entrega.</p>	<p>5. La organización tendrá la flexibilidad necesaria para mejorar las soluciones implementadas.</p>
<p>Actividades:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Análisis de datos.</li> <li>2. Selección de herramientas de VRP.</li> <li>3. Diseño de modelos de VRP.</li> <li>4. Integración de datos y modelos.</li> <li>5. Planificación de rutas óptimas.</li> <li>6. Capacitación del personal.</li> <li>7. Implementación.</li> <li>8. Monitoreo continuo.</li> <li>9. Evaluación de costos reducidos.</li> <li>10. Evaluación de eficiencias.</li> <li>11. Evaluación de la satisfacción del cliente.</li> <li>12. Realizar ajustes y mejoras.</li> <li>13. Prepara un informe de resultados.</li> <li>14. Compartir los resultados.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Precisión y completitud de los datos obtenidos.</li> <li>2. Tiempo empleado en el diseño de los modelos.</li> <li>3. Porcentaje de reducción en la distancia recorrida.</li> <li>4. Nivel de conocimiento adquirido por el personal.</li> <li>5. Éxito en la implementación del sistema en términos de disponibilidad y funcionalidad.</li> <li>6. Frecuencia y efectividad de los ajustes en las rutas.</li> <li>7. Frecuencia y efectividad de las mejoras realizadas.</li> <li>8. Calidad y alcance del informe presentado.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Evaluación de la calidad de los datos recopilados.</li> <li>2. Registro de tiempos y recursos invertidos en el diseño.</li> <li>3. Comparación de rutas antes y después de la optimización.</li> <li>4. Evaluaciones de capacitación y retroalimentación del personal</li> <li>5. Evaluación de la funcionalidad del sistema.</li> <li>6. Registro de ajustes realizados y su impacto en la eficiencia.</li> <li>7. Registros de cambios y su impacto en el rendimiento.</li> <li>8. Evaluación del informe por parte de los interesados.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Disponibilidad y Precisión de los datos.</li> <li>2. Colaboración del personal.</li> <li>3. Funcionalidad de la tecnología.</li> <li>4. Aceptación de los clientes.</li> <li>5. Recursos disponibles.</li> <li>6. Efectividad de las capacitaciones.</li> <li>7. Participación activa de las partes interesadas.</li> <li>8. Efectividad de las mejoras continuas.</li> </ol>

*Nota.* Matriz del marco lógico que detalla los objetivos, indicadores, medios de verificación y supuestos del proyecto de optimización del modelo de distribución en la última milla. Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO 3

### **Diagnóstico profundo: Marco de referencia y estrategia de intervención**

La "última milla" en la distribución se ha convertido en un componente crítico debido al crecimiento del comercio electrónico y la demanda de entregas rápidas y precisas. Los changarros, como pequeños establecimientos locales, representan un desafío único en este contexto, ya que suelen tener requerimientos de entrega específicos y volúmenes de pedido variables.

Desde una perspectiva logística, el VRP emerge como una herramienta esencial para mejorar los recorridos de distribución, disminuyendo los costos operativos y aumentando la eficiencia en la entrega.

#### **3.1. Definición de la estrategia de intervención, selección de las herramientas requeridas y el cronograma del diagnóstico profundo**

La estrategia se centra en la mejora de la eficiencia operativa en la última milla mediante la aplicación de técnicas de optimización de rutas. Para lograr esto, se propone la implementación de un modelo de VRP adaptado a las características del canal tradicional, considerando la variabilidad en la demanda, las restricciones geográficas y las particularidades del proceso logístico. En la siguiente tabla se muestran las herramientas necesarias para el desarrollo de este trabajo.

**Tabla 6**

*Herramientas requeridas para la implementación.*

HERRAMIENTAS REQUERIDAS	
Software de Modelado VRP:	Se utilizará un software especializado en la resolución de problemas de rutas de vehículos (VRP), tal como Google OR-Tools o en su caso, cualquier herramienta de optimización compatible con la complejidad del problema.
Sistema de Información Geográfica (SIG):	Se empleará un SIG, en este caso Google Maps para visualizar y analizar la geografía de la zona de distribución, identificando posibles restricciones de ruta y optimizando la planificación basada en datos geoespaciales.
Dispositivos de Seguimiento en Tiempo Real	Se implementarán dispositivos GPS en los vehículos de entrega para permitir el seguimiento en tiempo real y ajustes dinámicos en los recorridos dependiendo del tráfico y cambios en la demanda.
Encuestas y Entrevistas:	Para recopilar datos específicos sobre los changarros, se diseñarán encuestas y entrevistas dirigidas a propietarios y empleados, con el objetivo de comprender sus patrones de pedido, horarios operativos y preferencias de entrega.

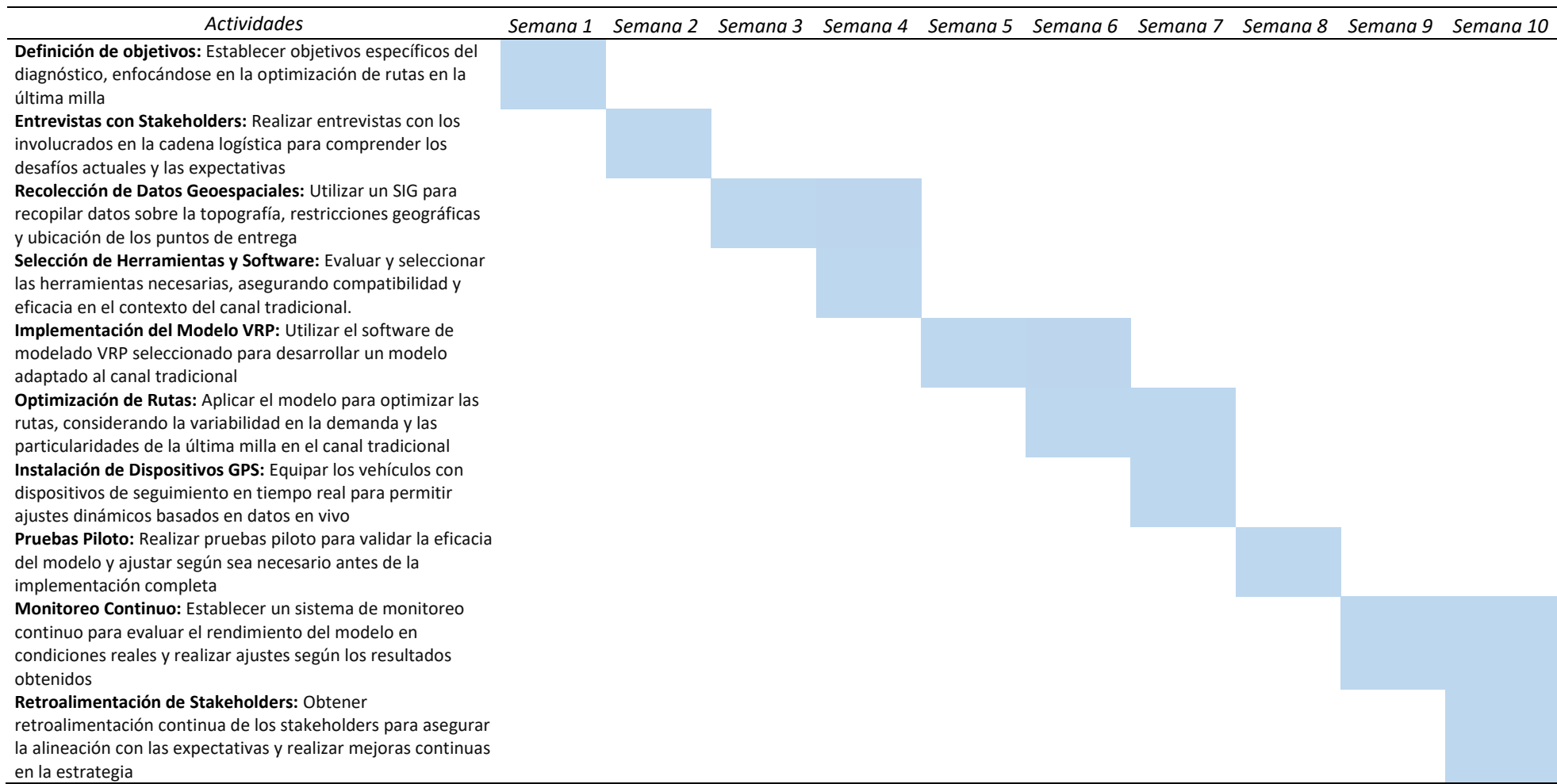
*Nota.* Herramientas identificadas para apoyar la implementación efectiva del proyecto. Elaborada como parte del análisis del proyecto.  
Fuente: Elaboración propia.

Para garantizar una implementación escalonada y meticulosa se muestra el siguiente cronograma integral, el cual se enfoca en varios aspectos clave para asegurar el éxito de la intervención y alcanzar los objetivos establecidos:

- Comprensión clara de objetivos
- Selección rigurosa de herramientas
- Recolección exhaustiva de datos
- Modelado y optimización precisa
- Validación de pruebas piloto
- Monitoreo y mejora continua

**Tabla 7**

*Cronograma Completo para la Ejecución del Diagnóstico Profundo*



Nota. Cronograma detallado de las actividades planificadas para la implementación del proyecto. Elaborado como parte del análisis del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

### **3.2 Definición de los factores prioritarios a intervenir y/o cambiar en la problemática**

La optimización de la distribución en la última milla en el canal tradicional requiere una atención especial a los factores que afectan directamente los costos y los tiempos operativos. A continuación, se detallan aspectos específicos relacionados con costos y tiempos que han sido identificados como prioritarios para la intervención:

#### **1. Costos de Combustible:**

La falta de rutas eficientes puede aumentar los costos de combustible debido a recorridos más largos y menos eficientes.

- **Intervención Propuesta:** La intervención se centrará en la optimización de rutas utilizando herramientas avanzadas de planificación. Se implementará un software especializado que permitirá calcular rutas más cortas y eficientes, minimizando así la distancia recorrida y, por ende, reduciendo los costos asociados al consumo de combustible.

- **Selección del Factor:** Este factor fue seleccionado porque los costos de combustible representan una parte significativa de los gastos operativos, y la reducción de estos costos tiene un impacto directo y positivo en la rentabilidad de la empresa. Además, la optimización de rutas es una intervención factible que puede implementarse relativamente rápido, ofreciendo beneficios tanto económicos como ambientales.

#### **2. Tiempos de Espera en Puntos de Entrega:**

La falta de sincronización en los tiempos de entrega puede generar tiempos de espera innecesarios en los puntos de entrega.

- **Intervención Propuesta:** Se propondrá un ajuste en las ventanas de tiempo de entrega, asegurando una mejor sincronización entre los horarios de operación de los changarros y los tiempos de llegada de los vehículos de distribución. Esta intervención no solo reducirá los tiempos de espera, sino que también mejorará la eficiencia del proceso de entrega y la satisfacción del cliente.

- Selección del Factor: Este factor fue seleccionado debido a su impacto directo en la eficiencia operativa y en la experiencia del cliente. Al reducir los tiempos de espera, se mejora la productividad y se aumenta la satisfacción del cliente, lo que es crucial para mantener la competitividad en un mercado donde la puntualidad es altamente valorada.

### 3. Ineficiencia en la Utilización de Vehículos:

La asignación ineficiente de vehículos puede resultar en capacidad no utilizada y, por ende, en mayores costos operativos.

- Intervención Propuesta: Se implementarán algoritmos de optimización que permitirán una asignación más eficiente de los vehículos, considerando tanto la capacidad de carga como la demanda en tiempo real. Esto maximizará la eficiencia en cada viaje y reducirá los costos operativos al garantizar que los vehículos estén completamente cargados y operen de manera óptima.
- Selección del Factor: Este factor fue seleccionado porque la subutilización de la flota tiene un efecto multiplicador en los costos operativos. Al mejorar la eficiencia en la asignación de vehículos, se pueden lograr reducciones significativas en los costos y aumentar la productividad sin necesidad de aumentar los recursos disponibles.

### 4. Retrasos en la Entrega:

Los retrasos en las entregas pueden repercutir directamente en la satisfacción del cliente y generar costos adicionales.

- Intervención Propuesta: Se mejorará la planificación de rutas mediante la incorporación de datos en tiempo real y la capacidad de hacer ajustes dinámicos en las rutas. Esto permitirá minimizar los retrasos y garantizar que las entregas se realicen puntualmente, mejorando así la satisfacción del cliente y la eficiencia operativa.

- Selección del Factor: Este factor fue seleccionado porque la puntualidad en las entregas es uno de los aspectos más valorados por los clientes y tiene un impacto directo en su satisfacción y lealtad. Al abordar los retrasos, no solo se mejorará la percepción del servicio, sino que también se evitarán costos adicionales asociados con entregas tardías.

#### 5. Comunicación Ineficiente de Cambios en Tiempo Real:

La falta de comunicación efectiva sobre cambios en tiempo real puede generar malentendidos y aumentar los tiempos de respuesta ante imprevistos.

- Intervención Propuesta: Se implementarán sistemas de comunicación en tiempo real que permitirán una respuesta ágil a cualquier cambio o imprevisto que surja durante las entregas. Esto no solo optimizará la adaptación a situaciones dinámicas, sino que también mejorará la coordinación interna y la satisfacción del cliente al garantizar que la información se transmita de manera eficiente y oportuna.
- Selección del Factor: Este factor fue seleccionado porque la capacidad de reaccionar rápidamente a los cambios es crucial para mantener la eficiencia operativa y asegurar que las expectativas del cliente se cumplan. Una comunicación eficiente permite una mayor flexibilidad y adaptabilidad en las operaciones, lo que es esencial en un entorno logístico dinámico.

La definición de estos factores prioritarios relacionados con costos y tiempos busca abordar aspectos críticos para la eficiencia económica y operativa en la distribución en la última milla. La intervención específica en estos aspectos tiene como objetivo no solo reducir costos operativos, sino también mejorar la satisfacción del cliente mediante entregas más rápidas y precisas.

### **3.3 Metas de información (qué quiero conocer con mi diagnóstico profundo)**

En este apartado se tiene como objetivo proporcionar una comprensión integral de la problemática en la distribución en la última milla en el canal tradicional. Para alcanzar este propósito, se han establecido metas específicas de información que se buscan obtener a través del diagnóstico:

1. **Patrones de Demanda y Horarios Operativos:** Entender los patrones de demanda de productos a lo largo del día y los horarios operativos de los changarros. Ajustar las rutas y horarios de entrega según estos patrones de demanda asegura que los recursos se utilicen de manera óptima, reduciendo tiempos de espera y mejorando la satisfacción del cliente.
2. **Efectividad de las Rutas Actuales:** Evaluar la efectividad de las rutas de distribución actuales en términos de distancia recorrida, tiempo de entrega y costos asociados. Identificar y eliminar ineficiencias en las rutas actuales permitirá diseñar rutas más cortas y eficientes, reduciendo los costos de transporte y mejorando la puntualidad de las entregas. Esto contribuye directamente a la disminución de costos de la operación y aumento en la eficiencia general del modelo de distribución.
3. **Variabilidad en la Demanda y Su Impacto en la Planificación de Rutas:** Analizar la variabilidad en la demanda a lo largo del día y su impacto en la planificación de rutas. Adaptar las rutas en tiempo real en base a la demanda ayuda a una planificación más exacta y eficiente, garantizando que los recursos se empleen de manera eficiente y mejorando la capacidad de respuesta operativa.
4. **Costos Asociados a la Distribución en la Última Milla:** Cuantificar los costos asociados a la distribución en la última milla, incluyendo combustible, tiempos de espera y posibles penalizaciones por retrasos en las entregas. Una evaluación precisa de los costos permite implementar estrategias específicas de reducción de costos, como la optimización de rutas y el uso de vehículos más eficientes. Esto mejora la rentabilidad general y contribuye a la sostenibilidad financiera de la empresa.

5. Eficiencia en la Utilización de Vehículos: Evaluar la eficiencia en la utilización de vehículos de entrega. Determinar si la capacidad de carga se está utilizando de manera óptima y si es posible reducir el número de vehículos necesarios. Optimizar la capacidad de carga y reducir el número de vehículos necesarios mejora la eficiencia operativa y reduce los costos de mantenimiento. Esto contribuye directamente a la eficiencia y rentabilidad del modelo de distribución.

6. Impacto de las Restricciones Geográficas en las Rutas: Analizar cómo las restricciones geográficas, como zonas de tráfico restringido, afectan las rutas de distribución. Identificar rutas alternativas para minimizar demoras y optimizar el flujo de entrega, mejorar la puntualidad y de esta forma reducir los costos operativos, contribuyendo a una mayor eficiencia en la distribución.

7. Tiempos de Entrega y Satisfacción del Cliente: Evaluar los tiempos de entrega actuales y su impacto en la satisfacción del cliente. Identificar oportunidades para reducir tiempos de espera y mejorar la experiencia del cliente. Reducir los tiempos de entrega mejora la satisfacción del cliente, lo que podría resultar en una mayor fidelidad y ventas recurrentes.

8. Efectividad de la Comunicación en Tiempo Real: Evaluar la efectividad de los sistemas de comunicación en tiempo real. Determinar si la comunicación de cambios en tiempo real es rápida, precisa y contribuye a la adaptabilidad en las rutas. Mejorar la comunicación en tiempo real permite una mayor adaptabilidad en las rutas, respondiendo rápidamente a cambios e imprevistos. Esto mejora la efectividad operativa y reduce los costos asociados con el manejo de incidentes.

Estas metas de información proporcionarán una perspectiva minuciosa de la situación presente y permitirán diseñar intervenciones para llevar a cabo los desafíos que se presenten en la distribución en la última milla en el canal tradicional.

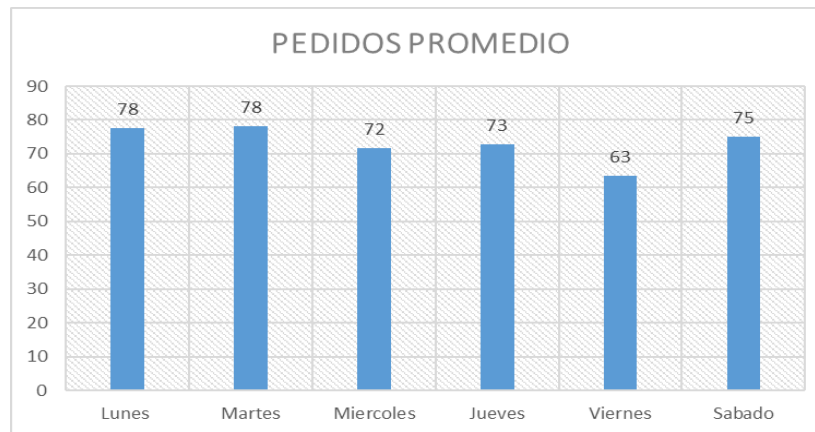
### 3.4 Identificación, descripción y cuantificación de métricas iniciales

Para evaluar el rendimiento actual del sistema de reparto en el canal tradicional, se han identificado, descrito y cuantificado diversas métricas clave. Estas métricas proporcionarán una base sólida para el diagnóstico profundo.

El siguiente gráfico muestra la variación en la demanda a lo largo de la semana, resaltando los días de mayor y menor actividad.

#### Figura 5

*Pedidos promedio por día de la semana.*



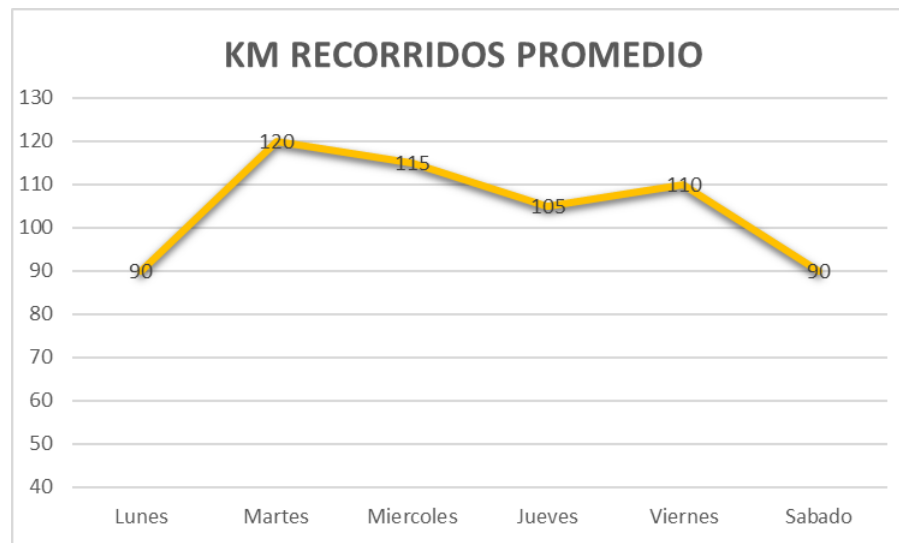
*Nota.* Gráfico que muestra el número de pedidos que debe entregar un chofer en promedio por día. Elaborado como parte del análisis del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

Entender la demanda diaria promedio ayuda a planificar rutas eficientes y optimizar la capacidad de carga de los vehículos. Esto está directamente relacionado con el objetivo de mejorar la eficiencia operativa y reducir costos operativos. Una demanda diaria consistente permite la implementación de un modelo de optimización de rutas que asegure una distribución uniforme de la carga y el uso óptimo de los recursos.

Así mismo, en el siguiente grafico representa los kilómetros promedio recorridos diariamente por los choferes de la compañía, permitiendo identificar tendencias y picos de actividad.

### Figura 6

*Kilómetros recorridos promedio por día.*



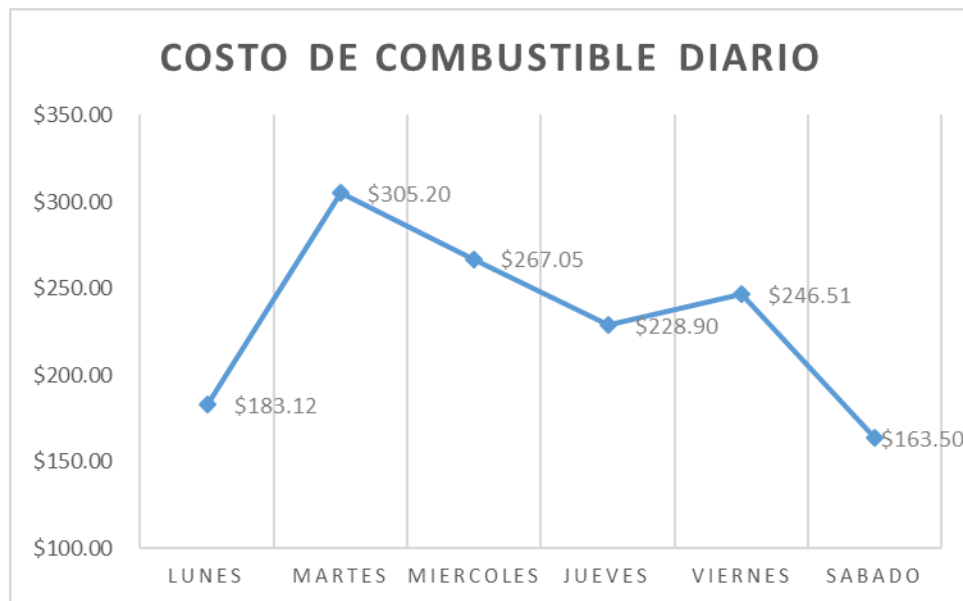
*Nota.* Promedio de distancias recorridas diariamente por una unidad. Elaborado como parte del análisis del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

La disminución de los kilómetros recorridos es crucial para disminuir los costos de combustible y mejorar la eficiencia operativa, alineándose con el objetivo de reducir costos operativos. Optimizar las rutas para reducir la distancia recorrida mejorará significativamente la eficiencia del modelo de distribución, permitiendo un ahorro en costos de transporte y tiempo.

Por último, se muestra el desglose del costo diario de combustible que genera un vehículo con la distribución de los pedidos en una ruta:

### Figura 7

*Costo diario de combustible por unidad.*



*Nota.* Promedio del costo diario de combustible. Elaborado como parte del análisis del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

Disminuir el costo de combustible está directamente relacionado con la efectividad de las rutas y la optimización del uso del transporte. Esto contribuye al objetivo de reducir los costos operativos. Una reducción en el costo promedio de combustible indicará una mejora en la eficiencia de las rutas y una mejor utilización de los recursos, validando así la eficacia de la intervención.

Adicional, se recabaron métricas como el rendimiento promedio por vehículo, costo por pedido entregado, eficiencia en la utilización de vehículos, tasa de cumplimiento de ventanas de tiempo y el índice de satisfacción del cliente, estas métricas tienen correlación con los objetivos del trabajo de la siguiente forma:

**Rendimiento Promedio por Vehículo:** Mejorar el rendimiento de los vehículos mediante una planificación eficiente de rutas puede disminuir notablemente los costos de la operación y las emisiones de carbono, alineándose con los objetivos de sostenibilidad y reducción de costos. Un mayor rendimiento por vehículo reflejará la eficiencia del modelo de distribución optimizado y la efectividad de las estrategias implementadas.

**Costo por Pedido Entregado:** Reducir el costo por pedido entregado es esencial para mejorar la rentabilidad de la operación, alineándose con el objetivo de aumentar la eficiencia y disminuir gastos operativos. Un costo por pedido más bajo indicará un mejor desempeño operativo y un mejor aprovechamiento de los recursos, validando las mejoras en la planeación de los recorridos.

**Eficiencia en la Utilización de Vehículos:** Aumentar la eficiencia en la utilización de vehículos reduce la subutilización y mejora la eficiencia operativa, contribuyendo a la disminución de costos y la optimización de recursos. Una mayor eficiencia en la utilización de la capacidad de carga refleja una planificación óptima y una mejor asignación de los recursos, lo que es crucial para validar la hipótesis del proyecto.

**Tasa de Cumplimiento de Ventanas de Tiempo:** Mejorar la tasa de cumplimiento de ventanas de tiempo es crucial para la satisfacción del cliente y la eficiencia operativa, alineándose con los objetivos de mejorar la puntualidad de las entregas y la satisfacción del cliente. Un mayor cumplimiento de las ventanas de tiempo acordadas indica una mejor planificación de rutas y una mayor eficiencia operativa, validando la efectividad de las estrategias de optimización.

**Índice de Satisfacción del Cliente:** Aumentar la satisfacción del consumidor es un objetivo clave, ya que una mayor satisfacción puede traducirse en ventas constantes. Un índice

de satisfacción del cliente más alto reflejará el éxito de las mejoras en la eficiencia operativa y la puntualidad de las entregas, validando la hipótesis de que la optimización de rutas mejora la experiencia del cliente.

Se muestra en seguida, la Tabla 8 con estas métricas y los valores iniciales:

**Tabla 8**

*Promedio de las Métricas Iniciales Evaluadas para la Implementación.*

<b>Métrica</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cuantificación Inicial</b>
Demanda Diaria Promedio	Promedio de pedidos diarios a los changarros por ruta.	73 pedidos/día
Distancia Promedio de Entrega	Distancia promedio recorrida por los vehículos de entrega (cada uno).	105 km/día
Costo Promedio de Combustible por Día	Costo total de combustible diario por vehículo.	\$232/día
Rendimiento promedio por vehículo	Promedio del rendimiento que da cada vehículo km/litros consumidos	9.8 km/lt
Costo por pedido entregado	Promedio de productividad en costo vs pedidos entregados	\$3.17/pedido
Eficiencia en la Utilización de Vehículos	Porcentaje de capacidad de carga utilizada en promedio.	85%
Tasa de Cumplimiento de Ventanas de Tiempo	Porcentaje de entregas realizadas dentro de las ventanas de tiempo acordadas.	75%
Índice de Satisfacción del Cliente	Evaluación de la satisfacción del cliente con el servicio de entrega.	8.5/10

*Nota.* Valores promedio actuales de las métricas con las que se estarán trabajado antes de implementar mejoras. Parte del análisis del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

Estas métricas proporcionan una instantánea inicial del desempeño de la distribución. La cuantificación de estas métricas permitirá comparaciones con lo que resulte después de la ejecución de intervenciones, facilitando la valoración de mejoras y el logro de objetivos específicos.

Actualmente, las mediciones de rendimiento en la distribución en la última milla se realizan de manera manual, lo que puede llevar a limitaciones en la precisión y la eficiencia del proceso. La recolección de datos, como la demanda diaria, la distancia de entrega y los tiempos de espera, se lleva a cabo mediante métodos manuales, lo que implica un riesgo potencial de errores y omisiones. Además, aunque se utiliza Google Maps para el punteo de clientes y la identificación de ubicaciones, el recorrido real es determinado por el chofer basándose en su experiencia y conocimiento personal de los clientes, junto con las ventanas de tiempo establecidas. Esta metodología puede resultar subjetiva y propensa a ineficiencias, ya que depende en gran medida de la intuición del conductor en lugar de seguir un enfoque optimizado basado en datos y algoritmos específicos para la distribución.

Actualmente, el recorrido de un chofer en la distribución en la última milla se lleva a cabo de manera empírica, sin utilizar herramientas que indiquen la ruta más óptima. Así mismo, se cuenta con una serie de restricciones que se enlistan a continuación:

- **Ventanas de Tiempo:** Ciertos changarros pueden tener horarios específicos para recibir entregas, actualmente no existe un monitoreo de estos clientes, en ocasiones el vendedor pone la observación en el ticket de venta y el chofer lo toma en cuenta, pero sucede mucho que el chofer no sabe de las ventanas de tiempo y tiene que dar varias vueltas con los clientes porque se encuentran cerrados.
- **Restricciones de acceso/ limitaciones geográficas:** La ubicación geográfica de los changarros puede generar restricciones en las rutas de entrega. Terrenos de difícil acceso, calles angostas, áreas remotas o incluso restricciones climáticas han llegado a afectar la eficiencia del enrutamiento y entrega de pedidos.
- **Restricción de tiempo:** El chofer tiene un horario de trabajo, el cual en ciertas ocasiones no se respeta por la mala eficiencia en el ruteo, lo que hace que pase más tiempo de lo que debe conduciendo y llega al almacén tarde o fuera de su horario establecido.

- **Trafico:** La mayoría de las situaciones, la ruta más óptima en términos de distancia puede no ser la más eficiente en términos de tiempo de conducción debido a condiciones de tráfico.

A continuación, se muestra la agrupación de los clientes correspondientes a una zona por ubicación geográfica y en seguida, un diagrama de grafos que ilustra como es el recorrido actual:

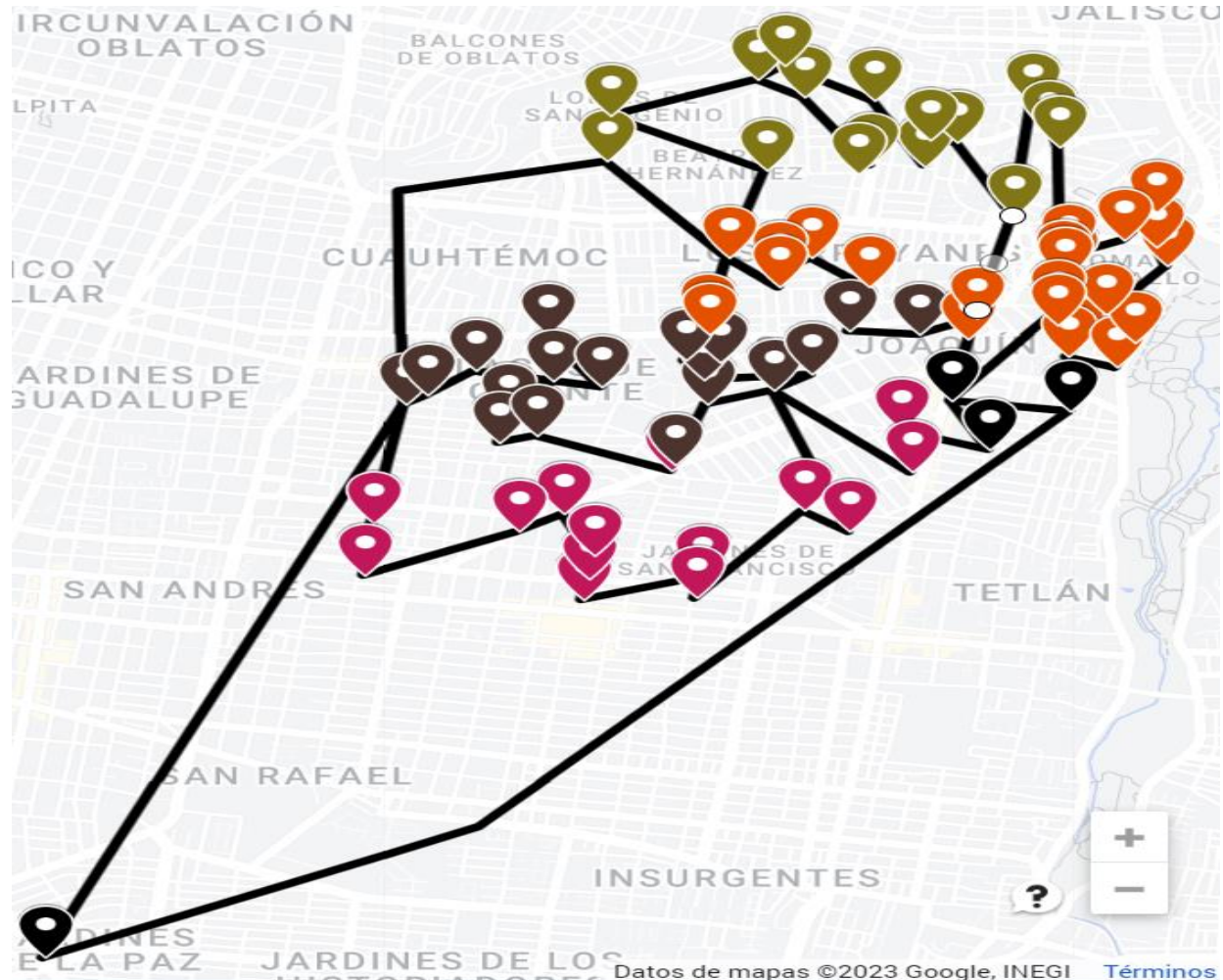
**Tabla 9**
**Ubicación geográfica de clientes de una zona.**

clave	vnd	nombre	direccion	folio	lat	lon
G026GM02	G026	PATRICIA	PRESA LA ESCONDIDA #4020	964656	20.6694521130079	-103.277086503804
G026GM05	G026	ALEX	PRESA LA ANGOSTURA #474	965018	20.6675696164895	-103.276750557125
G026GM19	G026	ANNA MALDONADO	JOSEFA ORTIZ DE DOMÍNGUEZ #3750	965025	20.6658172833155	-103.280187809777
G026GM18	G026	CARLOS	JARDINES DE VERSALLES #3803	965026	20.6648187643399	-103.278690800071
G026GM23	G026	ALMA DELIA	PRESA OSORIO #3486	965188	20.6676411398631	-103.284378089011
G026GM29	G026	MOISÉS	MANUEL CARPIO #3603	965662	20.6627614745809	-103.283436968923
G026GM45	G026	5 SERGIO	MARÍA GPE MTZ #2651	965663	20.6885358154075	-103.278545625508
G026GM30	G026	JOSEFINA	JAVIER MINA #3614	965664	20.6617629355201	-103.283559344709
G026GM40	G026	TONATIUH	ALEJANDRO ARANGO #3495	965665	20.6616750963945	-103.2871940732
G026GM39	G026	ROSARIO	JAVIER MINA #3405	965666	20.6626843021447	-103.287047557533
G026GM38	G026	ABARROTÉS NAYELI	FRAY MANUEL DE NAVARRETE #3403	966054	20.6637091865447	-103.286856114864
G026GM58	G026	MARIA	PRESA OSORIO #3334	966056	20.6656099256893	-103.287830092013
G026GM47	G026	ABARROTÉS PATRICIA	PRESA OSORIO #3257	966059	20.664803079101	-103.289241939783
G026GM50	G026	LAURA	CAIRO #172	966063	20.6652137181218	-103.293872773647
G026GM56	G026	SILVIA	FRANCISCO GONZÁLEZ GUERRERO #3110	966064	20.662823341166	-103.294180221856
G027M074	G027	ALEJANDRA.	CAIRO # 582	964898	20.6707040653621	-103.292880021036
G027M06 R	G027	RICARDO.		964899	20.6711278634826	-103.292171582558
G027M09	G027	NO ID		964901	20.6721906473496	-103.290628641844
G027M013	G027	SOFÍA.	ETIOPÍA#799	964902	20.6738814245354	-103.288316912949
G27M075 R	G027	RAFAEL	DEM STENES 664	965179	20.6716340160005	-103.288115076721
G027M017	G027	ROSA MORÁN.	LOCAL 30. 32	965182	20.6702401132879	-103.289582580328
G027M019	G027	EDGAR.	FRANCISCO DE AVZA # 3245	965184	20.6689370246279	-103.289871923625
G027M022	G027	EDUARDO	DEMOSTENES#521	965187	20.6692858269506	-103.288664259016
G027M061	G027	SIX ALMA	PRESA DE OSORIO #3499	965301	20.6678936672944	-103.284270465374
G027M025	G027	VIRGINIA CORTES	GAZA # 668	965993	20.6714697870849	-103.286593928933
G027M037	G027	BENGAMIN.	NAZARETH #691	965997	20.6707100255215	-103.283267319202
G027M042	G027	CARIDAD		965998	20.6717778724303	-103.283290788531
G027M049	G027	SARAI		966000	20.6726335763285	-103.282833471894
G027M84 A	G027	ABARROTÉS LUIS	JORDAN NORTE/ PABLO VALDEZ 723	966003	20.6722528333333	-103.28390461666667
G027M052	G027	ELIZABETH		966009	20.6712972569231	-103.281129933894
G027M056	G027	ROBERTO.	PRESA PALMITO # 801	966011	20.6720331751209	-103.279926292598
G027M064	G027	MARY.	PABLO VALDEZ #3756	966013	20.6740307390185	-103.278688788414
G027M067	G027	OSWALDO		966014	20.6738876982562	-103.276463225484
G028M02 M	G028	MARI	LIRA#908/ROBERTO WEEKS Y FABIAN CARRILLO	964659	20.6732421310337	-103.27152594924
G028M01 A	G028	ABARROTÉS	LIRA# 904	964660	20.6728757437508	-103.271728791296
G028M06 A	G028	ABARROTÉS LOLITA	MARCO REYNAL # 4135/TERESA VERA Y MALECON	964751	20.672394883329	-103.270238488913
G028M69 M	G028	MARIA DEL SOCORRO	AV. MALECA#N # 947FABIAN CARRILLO Y ROBE	964752	20.673518	-103.2696235
G028M012	G028	ANDRES	PABLO VALDEZ # 4101/CAMILO CARRANCA Y SUCRE	964796	20.67481495133	-103.270522467792
G028M015	G028	JESSICA	AV. MALECON # 1143/DELIO MORENO Y JOSE GERONIMO HERNANDEZ	965034	20.6770634363514	-103.268533945804
G028M016	G028	ALEJANDRO	JOSE MARIA IGLESIAS # 4160/SUCRE Y MALECON	965035	20.677945454584	-103.268919512629
G028M70 G	G028	GLORIA FERNÁNDEZ	PEDRO F. RIVAS #1286 JOSE MARIA IGLESIAS	965036	20.679550116666668	-103.2689053333332
G028M019	G028	GERARDO ROMO	JOSE GERONIMO HERNANDEZ # 4002/VICENTE DAZA Y SUCRE	965037	20.6767215114069	-103.271626532078
G028M59 D	G028	DAMARIS	JOSE MARÍA A IGLESIAS # 4102ENTRE SUCRE 4102	965038	20.6782396666668	-103.26990881666667
G028M75 R	G028	ROCIO GONZALEZ	VICENTE DAZA # 1150 ESQ. DELIO MORENO	965039	20.677544166666667	-103.271713146666665
G028M021	G028	LETICIA	JOSE G. HERNANDEZ # 398C/VICENTE DAZA Y FERNANDO SOLIS	965040	20.6767983630304	-103.271938338876
G028M68 J	G028	JOSE EDUARDO	VICENTE DANZA # 1064 AESQ. FRANCISCO DOM	965041	20.676445566666665	-103.271868666666668
G028M023	G028	LAURA	VICENTE DAZA # 999/PABLO VALDEZ Y PRESA OSORIO	965192	20.6749821448709	-103.272078508288
G028M024	G028	ANGELES	PRESA OSORIO # 4022/VICENTE DAZA Y FABIAN CARRILLO	965193	20.6742722768421	-103.272084854543
G028M031	G028	PATRICIA MUÑOZ	FLORIN # 3991/PRESA LAUREL Y GUINEA	965326	20.6736885074964	-103.274897821248
G028M032	G028	JESUS GARCIA	PRESA LAUREL # 796/FLORIN Y PABLO VALDEZ	965327	20.6746618734049	-103.274695649743
G028M035	G028	JUAN PABLO	EMILIO RABAZA # 3950/ESQ. PRESA TINTERO	965952	20.6761004233893	-103.278125859797
G028M039	G028	KARINA ( POLLERIA )	PERTO MELAQUE # 3773/FRANCISCO GONZALEZ DE LEON Y ANTONIO MORENO DE OVIEDO	965953	20.6774539528494	-103.279934003949
G028M76 A	G028	ABARROTÉS RODRÁ-GUEZ	PRIV FRANCISCO GONZÁLEZ DE LEÓN 3734#	965954	20.6766852	-103.2809375
G028M040	G028	FERNANDO	JOSE ROSAS MORENO # 1026/EMILIO RABAZA Y PT MELAQUE	965955	20.6760725057369	-103.280931450427
G028M57 B	G028	BENJAMIN	ESTEBAN HUERTA 1053 ESQ PUERTO MELAQUE	965956	20.6774	-103.2825733333335
G028M041	G028	ROBERTO	ISRAEL # 826/PABLO VALDEZ Y GUSTAVO BAS	965957	20.6742939211218	-103.283236809075
G028M042	G028	RENE	PABLO VALDEZ # 3603/ESQ. ISRAEL	965958	20.6739243995173	-103.283166065812
G029M05 L	G029	LUPITA	IGNACIO CASTAÑEDA #3475A/ARON JOAQUIN	964799	20.6815750071699	-103.276294246316
G029M65 R	G029	RAMON	JOSE LUIS VELASCO #3223/ZALATE	964800	20.6827544023362	-103.27522136271
G029M92 M	G029	MAGDALENA	FCO SEVERO MALDONADO 4077/ZALATE	964801	20.6793899652055	-103.273479938507
G029M07 O	G029	ORTENCIA	ELISA FLORES #2231/ARON JOAQUIN	964856	20.681673225932	-103.277967944741
G029M12 A	G029	ALMA	RAMON SILVA #2210/ARON JOAQUIN	964857	20.6813312852708	-103.278431631625
G029M52 A	G029	ALVAREZ	ANTONIO R. GLEZ #238/BEATRIZ HDEZ	964971	20.6847922877555	-103.280164003372
G029M21 N	G029	NETO	AMADO CAMARENA #2214/BEATRIZ HDEZ	965226	20.6814533031045	-103.281373679638
G029M32 E	G029	EL PUMA	GAZA #1384/BEATRIZ HDEZ	965227	20.6818234372222	-103.286443054676
G029M63 V	G029	VALERIA	JOSE LUIS VELASCO #3239/ZALATE	965406	20.6828444249418	-103.276143372059
G029M35 J	G029	JESUS SANCHEZ	RANCHO DE LA LUZ #3415/LOMAS DE SAN EUGENIO	965407	20.6839639	-103.2863438
G029M48 L	G029	LIVIER	AND. PEDRO SANCHEZ #3731/B DE OBLATOS	965410	20.6856194161413	-103.281610384583
G029M49 T	G029	TERESA	PEDRO SANCHEZ #3748/B DE OBLATOS	965970	20.6862316827139	-103.280725256609
G029M56 S	G029	SOLEIDAD	JOSE GARIBAY #3407/ARON JOAQUIN	965971	20.6846878377752	-103.277922011912
G029M93 R	G029	RAFA	ARCADIO URCELAY #4084/ZALATE	965973	20.6844786239349	-103.272822126746
G029M69 G	G029	GUADALUPE	CONCEPCION URQUIZA #1344/ZALATE	965974	20.6832540741732	-103.272336646914
G029M78 P	G029	PEDRO	SORJUANA INES DE LA CRUZ #1275/ZALATE	965976	20.6824818248528	-103.2720348984

Nota. Latitudes y longitudes de las ubicaciones de los clientes de una ruta que recorre un chofer en un día. Fuente: Elaboración propia.

## Figura 8

Recorrido actual de un día de un chofer realizado en Google Maps.



Nota. Recorrido que decide realizar un chofer actualmente, el cual es de forma empírica para entregar los pedidos de una ruta.  
Fuente: (Google Maps, 2024)

**Nodos y Conexiones:** Cada punto de color representa un cliente o "changarro", y las líneas entre ellos indican la secuencia actual de entrega.

**Ruta Empírica:** La línea negra muestra la ruta seguida por el chofer de manera empírica, basándose en su experiencia y conocimiento personal de los clientes. Esta ruta puede no ser la más eficiente en términos de distancia o tiempo.

La dependencia de la experiencia individual del chofer para planear las rutas y tomar decisiones durante la distribución en la última milla introduce un elemento de variabilidad que podría impactar negativamente en la eficiencia operativa. La falta de una estrategia sistemática respaldada por herramientas especializadas podría resultar en tiempos de entrega prolongados, costos innecesarios de combustible y posiblemente insatisfacción del cliente debido a retrasos imprevistos. La implementación de un enfoque más estructurado y tecnológicamente respaldado, como la optimización basada en algoritmos, podría brindar soluciones a estos desafíos, mejorando significativamente la eficiencia y reduciendo los costos operativos asociados con la distribución en la última milla.

### **3.5 Descripción del análisis: correlación e interpretación de la información**

En el marco de la intervención para optimizar la distribución en la última milla en el canal tradicional, se realizará un análisis detallado que busca establecer correlaciones entre los datos recabados y las hipótesis planteadas. La hipótesis principal es que la implementación de un modelo de Problema de Rutas de Vehículos (VRP) adaptado a las características del canal tradicional mejorará la eficiencia operativa y reducirá los costos logísticos. Para llevar a cabo este análisis, se recopilarán datos antes y después de la intervención, centrándose en métricas como la distancia recorrida, el tiempo de entrega y la satisfacción del cliente.

Se espera establecer una correlación positiva entre la implementación del modelo de VRP y la reducción de los kilómetros recorridos por los vehículos de entrega. A través de la optimización de rutas, se anticipa una disminución significativa en los kilómetros totales, lo que debería correlacionarse directamente con una reducción proporcional en los costos asociados al combustible. Además, se buscará establecer una correlación positiva entre la implementación del modelo y la mejora en la puntualidad de las entregas, medida por la tasa de cumplimiento de ventanas de tiempo. Una mejora en esta métrica debería traer una mejora en la satisfacción del cliente, ya que se espera que las entregas sean más predecibles y acordes a las expectativas establecidas.

El análisis también incluirá la interpretación de la información recopilada para ponderar la importancia relativa de cada métrica en base a los objetivos que busca la empresa. Por ejemplo, si se observa una correlación directa entre la implementación del modelo y la eficiencia en la utilización de vehículos, esto podría indicar que la intervención está contribuyendo significativamente a la optimización de recursos y, por ende, a la reducción de costos operativos. La interpretación de estos hallazgos será crucial para tomar decisiones informadas sobre ajustes continuos en la estrategia y para respaldar las decisiones que se tomen en la compañía hacia una distribución en la última milla más eficiente y rentable.

## CAPÍTULO 4

### Implementación: Planeación de la intervención

#### 4.1 Justificación de la intervención

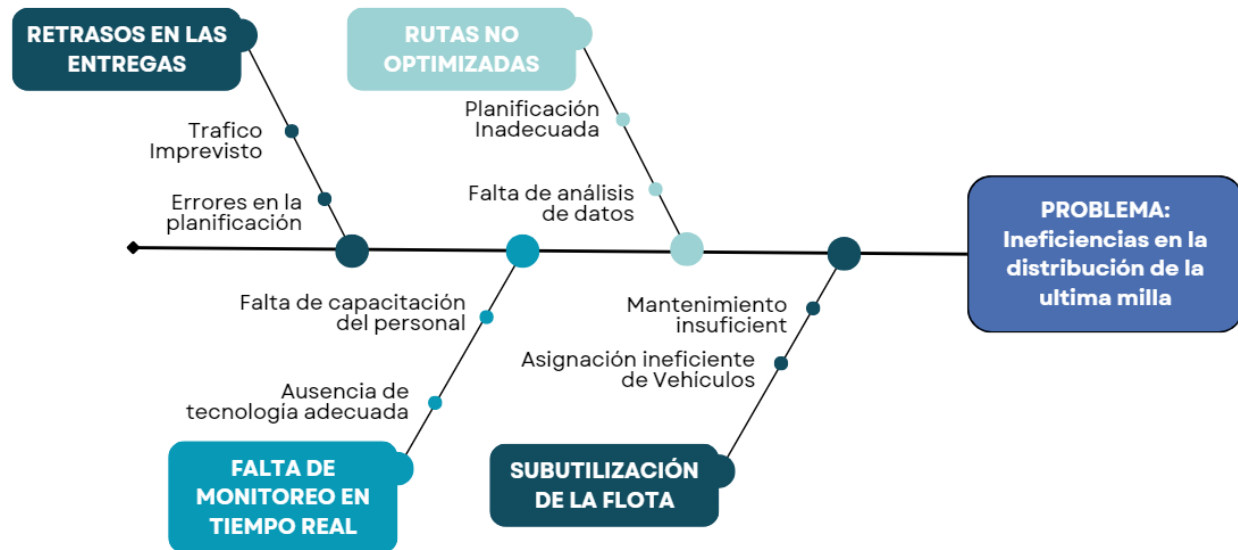
La intervención propuesta se justifica en función del diagnóstico profundo realizado, que identificó varias ineficiencias críticas en la última milla de la distribución. Estas ineficiencias no solo afectan los costos operativos, sino también la satisfacción del cliente y la capacidad competitiva de la compañía. En seguida se presenta una justificación precisa de la intervención propuesta.

- Disminución de costos de la operación: El uso de técnicas avanzadas de VRP (Vehicle Routing Problem) puede disminuir significativamente los costos asociados con la logística.
  - Combustible
  - Mantenimiento
- Mejora en la efectividad de la operación: Optimizar los recorridos y utilizar vehículos de manera más eficiente reducirá el tiempo y la distancia recorrida, aumentando la productividad.
- Satisfacción del cliente: Mejorar la puntualidad y fiabilidad de las entregas aumentará la satisfacción del cliente y fortalecerá las relaciones comerciales.

En el siguiente diagrama (Figura 6) se presentan los aspectos que contribuyen en la problemática:

**Figura 9**

*Diagrama de Ishikawa: Análisis de las Causas Principales del Problema.*



*Nota.* Diagrama de Ishikawa que identifica y clasifica las causas principales de los problemas en la distribución en la última milla.  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.1 Consideraciones costo/beneficio de la intervención

La implementación requerirá una inversión en software de optimización de rutas, capacitación del personal, y dispositivos GPS para el monitoreo en tiempo real. Adicional, un posible costo sería la actualización de flotilla en caso de resultar necesario, sin embargo, este costo sería a largo plazo y con un plan de renovación y financiamiento dividido en varios periodos de tiempo por lo que para efectos de este análisis esta inversión no se considera en este análisis.

De igual forma, esta inversión traerá consigo grandes beneficios para la empresa que superarán ampliamente la inversión inicial, resultando en una recuperación de inversión

en poco tiempo. Entre los beneficios se encuentra la reducción en el gasto de gasolina, mantenimientos y tiempos;

- Reducción del 17% en costos de equipo de transporte (combustible y mantenimientos).
- Aumento del 10% en la eficiencia de utilización de vehículos.
- Mejora del 20% en la puntualidad de las entregas.

Los recursos y la infraestructura actual de la empresa son suficientes para soportar la implementación de las nuevas estrategias sin necesidad de cambios significativos.

A continuación, se procederá a realizar los cálculos y análisis de los conceptos financieros clave, incluyendo el periodo de recuperación, el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR) con el propósito de evaluar la viabilidad de la intervención, asegurando que los beneficios esperados superen significativamente los costos asociados.

Como información base, se resume lo siguiente:

- Número de unidades: 11  
Cantidad de vehículos utilizados en la operación.
- Pedidos por unidad al día: 120  
Número promedio de pedidos que cada vehículo maneja diariamente.
- Días de operación al año: 300 (asumiendo 6 días a la semana)  
Número total de días de operación anuales.
- Costo inicial del software de optimización de rutas: \$50,000 (una sola vez)  
Costo de adquisición del software avanzado para optimización de rutas.
- Costo mensual de suscripción por usuario del software: \$500 por usuario (11 usuarios, total \$5,500)  
Costo mensual de suscripción del software para cada uno de los 11 usuarios.
- Costo por dispositivo GPS: \$200 por unidad (una sola vez)  
Costo de adquisición de dispositivos GPS para cada vehículo.

- Costo de combustible por kilómetro: \$0.80  
Costo estimado del combustible por kilómetro recorrido.
- Kilómetros recorridos por unidad al día: 150 km  
Distancia promedio recorrida por cada vehículo diariamente.
- Reducción estimada en el costo total del equipo de transporte (incluyendo combustible, mantenimiento y otros): 17%  
Porcentaje estimado de reducción de costos como resultado de la intervención.
- Gasto promedio por unidad total al año (combustible + mantenimiento): \$85,000  
Gasto anual promedio por vehículo, incluyendo combustible y mantenimiento.

## Costos Iniciales de a intervención

**Tabla 10**

*Resumen de los Costos Iniciales Estimados.*

Concepto	Monto	Descripción
Software de optimización de rutas	\$50,000	Este costo cubre la adquisición de software avanzado para la optimización de rutas de distribución, reduciendo las distancias recorridas y mejorando la eficiencia operativa.
Dispositivos GPS (11 unidades x \$200 por unidad)	\$2,200	Este costo corresponde a la compra de dispositivos GPS para cada uno de los 11 vehículos. Los dispositivos son esenciales para seguir las unidades en tiempo real y la mejora de rutas.
Capacitación del personal	\$3,000	Este costo cubre la capacitación del personal en el uso del nuevo software y dispositivos GPS. La capacitación adecuada es crucial para asegurar que el personal pueda utilizar las nuevas herramientas de manera efectiva.
<b>Total de costos iniciales</b>	<b>\$55,200</b>	Este es el costo total inicial necesario para implementar el proyecto de intervención.

*Nota:* Montos de la inversión inicial que se tendría que hacer al iniciar con la implementación. Fuente: Elaboración propia.

Adicional, se presenta el costo mensual de suscripción asociados al uso del software de optimización de rutas:

**Tabla 11**

*Estimación de los Costos Mensuales Operativos.*

Concepto	Cálculo	Monto	Descripción
Suscripción mensual del software (11 usuarios x \$500)	11 x \$500	\$5,500	Este costo cubre la suscripción mensual del software para cada uno de los 11 usuarios.

*Nota.* Montos de los conceptos que se tendrían que pagar de forma recurrente cada mes. Fuente: Elaboración propia.

### **Beneficios Anuales Estimados**

Esta sección presenta los beneficios anuales esperados como resultado de la intervención, basados en la reducción de costos operativos.

- Gasto promedio por unidad total al año (combustible + mantenimiento): \$85,000
- Gasto total por todas las unidades al año: \$85,000 \* 11 unidades = \$935,000
- Reducción estimada en el costo total del equipo de transporte (17%): \$935,000 \* 0.17 = \$158,950

*Total de ahorros anuales: \$158,950 por operación*

*Total de ahorros mensuales: \$13,246 por operación*

En seguida se muestra el cálculo del flujo libre de caja junto con cuatro medidas financieras consideradas como clave para validar la rentabilidad de este proyecto:

- **Flujo Libre de Caja**

El flujo de caja libre mensual muestra cómo los ingresos netos (beneficios) se comparan con los costos mensuales. Este cálculo es crucial porque permite ver cuándo se recuperará la inversión inicial y cuándo empezará a generar beneficios netos. El flujo de caja libre es el capital que queda una vez que se cubrieron todos los gastos operativos y de inversión. A continuación, se muestra el Flujo Libre de Caja de la inversión de este proyecto:

**Tabla 12**

*Análisis del Flujo Libre de Caja Proyectado.*

Mes	Inversión Inicial Flujos												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Costos Iniciales	\$55,200	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Costos Mensuales	\$0	\$5,500	\$5,500	\$5,500	\$5,500	\$5,500	\$5,500	\$5,500	\$5,500	\$5,500	\$5,500	\$5,500	\$5,500
Beneficios Mensuales	\$0	\$13,246	\$13,246	\$13,246	\$13,246	\$13,246	\$13,246	\$13,246	\$13,246	\$13,246	\$13,246	\$13,246	\$13,246
<b>Flujos Libres de Caja</b>	<b>-\$ 55,200.00</b>	<b>\$ 7,746.00</b>	<b>\$ 7,746.00</b>	<b>\$ 7,746.00</b>	<b>\$ 7,746.00</b>	<b>\$ 7,746.00</b>	<b>\$ 7,746.00</b>	<b>\$ 7,746.00</b>	<b>\$ 7,746.00</b>	<b>\$ 7,746.00</b>	<b>\$ 7,746.00</b>	<b>\$ 7,746.00</b>	<b>\$ 7,746.00</b>
Flujos Acumulados	-\$ 55,200.00	-\$47,454.00	-\$39,708.00	-\$31,962.00	-\$24,216.00	-\$16,470.00	-\$ 8,724.00	-\$ 978.00	\$ 6,768.00	\$14,514.00	\$22,260.00	\$30,006.00	\$37,752.00
<b>Valor Presente Flujos</b>	<b>-\$55,200.00</b>	\$7,684.72	\$7,623.93	\$7,563.62	\$7,503.78	\$7,444.42	\$7,385.53	\$7,327.10	\$7,269.14	\$7,211.63	\$7,154.58	\$7,097.98	\$7,041.83

*Nota.* Detalle del flujo libre de caja, reflejando la capacidad de la empresa para generar efectivo después de cubrir sus gastos operativos y de inversión. Parte del análisis financiero del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 13**

*Indicadores Clave de Rentabilidad del Proyecto.*

Medida	Valor
<i>Periodo de Recuperación</i>	8 meses
<i>Exceso sobre la Inversión</i>	\$37,752.00
<i>Valor Presente Neto</i>	\$33,108
<i>Tasa Interna de Retorno</i>	9.10%

*Nota.* Indicadores de rentabilidad que evalúan el desempeño financiero del proyecto. Parte del análisis financiero realizado. Fuente: Elaboración propia.

El flujo de caja libre mensual de \$7,746 indica que, después de cubrir los costos de suscripción mensuales del software (\$5,500), la empresa tiene un excedente de \$7,746 cada mes gracias a los ahorros generados por la optimización de rutas.

Este excedente mensual es fundamental porque muestra que la inversión inicial está comenzando a generar un retorno positivo rápidamente. Una vez recuperada la inversión inicial, este flujo de caja libre adicional representa beneficios netos para la empresa, mejorando su liquidez y capacidad para reinvertir o expandir sus operaciones.

- **Periodo de Recuperación**

El periodo de recuperación es el periodo necesario para recobrar la inversión inicial de \$55,200 mediante los flujos de caja libres calculados.

En el ejercicio del Free Cash Flow este periodo se puede observar mediante la acumulación de los flujos, este periodo de recuperación es de aproximadamente 8 meses y significa que, después de poco más de siete meses, la empresa habrá recuperado completamente su inversión inicial de \$55,200. Todo el flujo de caja libre generado después de este periodo se considera beneficio neto. Este corto periodo de recuperación indica que la inversión es relativamente segura y rentable.

- **Exceso sobre la Inversión**

El exceso sobre la inversión, también conocido como el valor creado por la inversión, es la resta entre el VPN de los flujos de caja y el monto inicial invertido. Este cálculo ayuda a evaluar cuánto valor adicional se ha creado a partir de la inversión después de recuperar su costo inicial.

El resultado de este proyecto fue de \$37,752 el cual representa el valor adicional creado por la inversión después de recuperar el costo inicial. Este valor indica cuánto ha aumentado el valor de la empresa debido a la inversión en optimización de rutas. Un exceso sobre la inversión positivo demuestra que la inversión no solo se ha recuperado, sino que ha generado un valor adicional significativo.

- **Valor Presente Neto**

El valor presente neto (VPN) es una medida de la rentabilidad de una inversión, calculada como la diferencia entre el valor presente de los flujos de caja futuros y la inversión inicial. En este proyecto se utiliza una tasa de descuento para reflejar el valor temporal del dinero el cual es el WACC y el valor proporcionado por el distribuidor es del 10% anual, 0.7974% mensual.

Este cálculo se realizó con la fórmula de Excel para este concepto, dando un resultado de \$33,108. Un VPN positivo indica que el valor presente de los flujos de caja futuros de la inversión es significativamente mayor que el costo inicial de la inversión, lo que quiere decir que la inversión es económicamente viable y se espera que genere un retorno considerable mayor a la tasa de descuento aplicada.

- **Tasa Interna de Retorno (TIR)**

La tasa interna de retorno (TIR) hace que el valor presente neto de los flujos de caja sea igual a cero. Es una medida de la rentabilidad de la inversión. De igual forma se utilizó una fórmula de Excel que calcula este valor, dando un resultado de 9.10% mensual la cual implica una TIR anual aproximada de 184%. Esto significa que la inversión genera un retorno muy alto sobre su costo inicial, lo que la hace extremadamente atractiva desde una perspectiva financiera. Una TIR alta indica una inversión de alto rendimiento.

Estas consideraciones muestran que la intervención es rentable y se recupera en un tiempo razonable, con un impacto positivo significativo en los costos operativos y la eficiencia.

El resultado positivo del exceso sobre la inversión, así como el VPN de \$33,108 y la TIR anual del 184%, demuestra que la inversión no solo se recuperará rápidamente, sino que también generará un retorno significativo, creando un valor sustancial para la empresa. Con esta información, se confirma que la intervención en la optimización de rutas es financieramente viable y altamente rentable.

## **4.2 Actividades, herramientas e instrumentos**

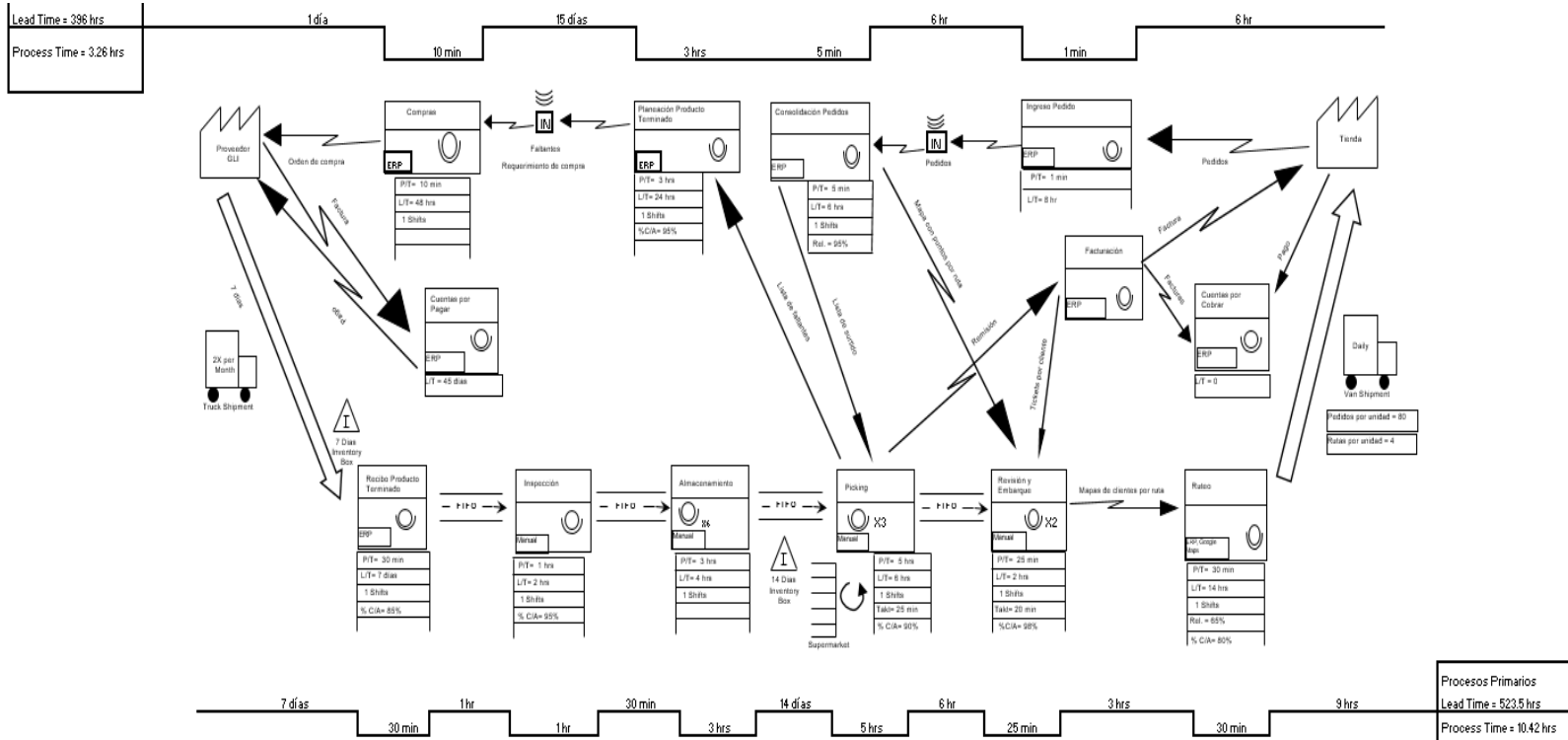
En esta sección, se detallan las actividades, herramientas e instrumentos necesarios para implementar la intervención propuesta en la distribución. La mejora de rutas y la tecnología de monitoreo se utilizan para optimizar la operación y disminuir costos. Sin embargo, para evaluar y mejorar los procesos actuales, se emplea el Mapa del Flujo de Valor (VSM, por sus siglas en inglés), un apoyo visual que ayuda a identificar las acciones o procesos que generan valor y las que no lo hacen, permitiendo una optimización efectiva del flujo de trabajo.

### **Mapa de Cadena de Valor (VSM) - Actual**

El Mapeo del Flujo de Valor (VSM) se utiliza para visualizar y analizar el estado actual de los procesos y diseñar un estado futuro optimizado. A continuación, se presentan el VSM actual y el VSM futuro, junto con una descripción de los procesos y las mejoras esperadas.

**Figura 10**

*Mapa de Cadena de Valor (VSM) en su Estado Actual.*



*Nota.* Mapa de cadena de valor (VSM) que representa el estado actual de los procesos operativos de la empresa. Parte del análisis del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

Este VSM inicia con la crucial fase de transmisión de pedidos por los pre vendedores, quienes desarrollan un papel esencial en la identificación y solicitud de los productos necesarios para cumplir con las necesidades de los clientes. El proceso avanza con la consolidación de los pedidos una vez que se reúne la información de un grupo de cuatro pre vendedores, al tener esta información se inicia la preparación de la carga.

El siguiente paso detallado en el mapa es la impresión de un ticket de surtido, el cual es entregado al jefe de almacén. Este, con el apoyo de dos auxiliares, lleva a cabo el picking

de los productos, organizándolos en una tarima preparada para la carga en la unidad de transporte designada. Este procedimiento asegura una organización eficiente y un control estricto sobre los productos a distribuir.

Previo a la carga, el jefe de almacén verifica y valida el ticket de surtido contra el inventario disponible, un paso crucial para ajustar cualquier discrepancia debido a faltantes, garantizando así que el área de facturación facture únicamente los productos que serán efectivamente distribuidos. La revisión conjunta de la carga por parte del jefe de almacén y el chofer es fundamental para prevenir errores y asegurar la precisión en la entrega.

El área de facturación desempeña un papel clave al entregar las facturas por cliente al chofer, asegurando que la documentación refleje con exactitud los productos y cantidades cargadas. Este meticuloso proceso se replica para los 11 choferes encargados de la distribución, subrayando la importancia de la precisión y eficiencia en cada etapa.

Finalmente, el VSM culmina con la elaboración del mapa de ruta por parte del auxiliar administrativo, quien utiliza herramientas como Google Maps para marcar los puntos específicos de entrega. Este mapa es enviado a los choferes, quienes se encargan de organizar su ruta de distribución de manera empírica, basándose en la información proporcionada.

Este Mapa de Cadena de Valor no solo ilustra los pasos individuales y su secuencia dentro del proceso de distribución de la última milla, sino que también destaca las áreas de interacción clave entre diferentes roles y departamentos, ofreciendo una visión integral y detallada del flujo de trabajo actual.

### *Áreas de Oportunidad*

**Transmisión de Pedidos:** La transmisión manual de pedidos toma un total de 3 horas, lo que incluye un tiempo de espera de 1 hora. Este tiempo puede ser reducido mediante la

automatización de la recepción de pedidos, lo que mejorará la eficiencia y reducirá los errores.

**Consolidación de Pedidos:** La consolidación manual lleva un total de 6 horas, incluyendo 2 horas de espera. La automatización de la consolidación de pedidos puede minimizar los errores y reducir significativamente el tiempo de espera. Así como realizar cortes en la consolidación del producto con más complejidad en picking (bebidas) para que el área de picking no tenga tanto tiempo muerto y pueda agilizar el proceso.

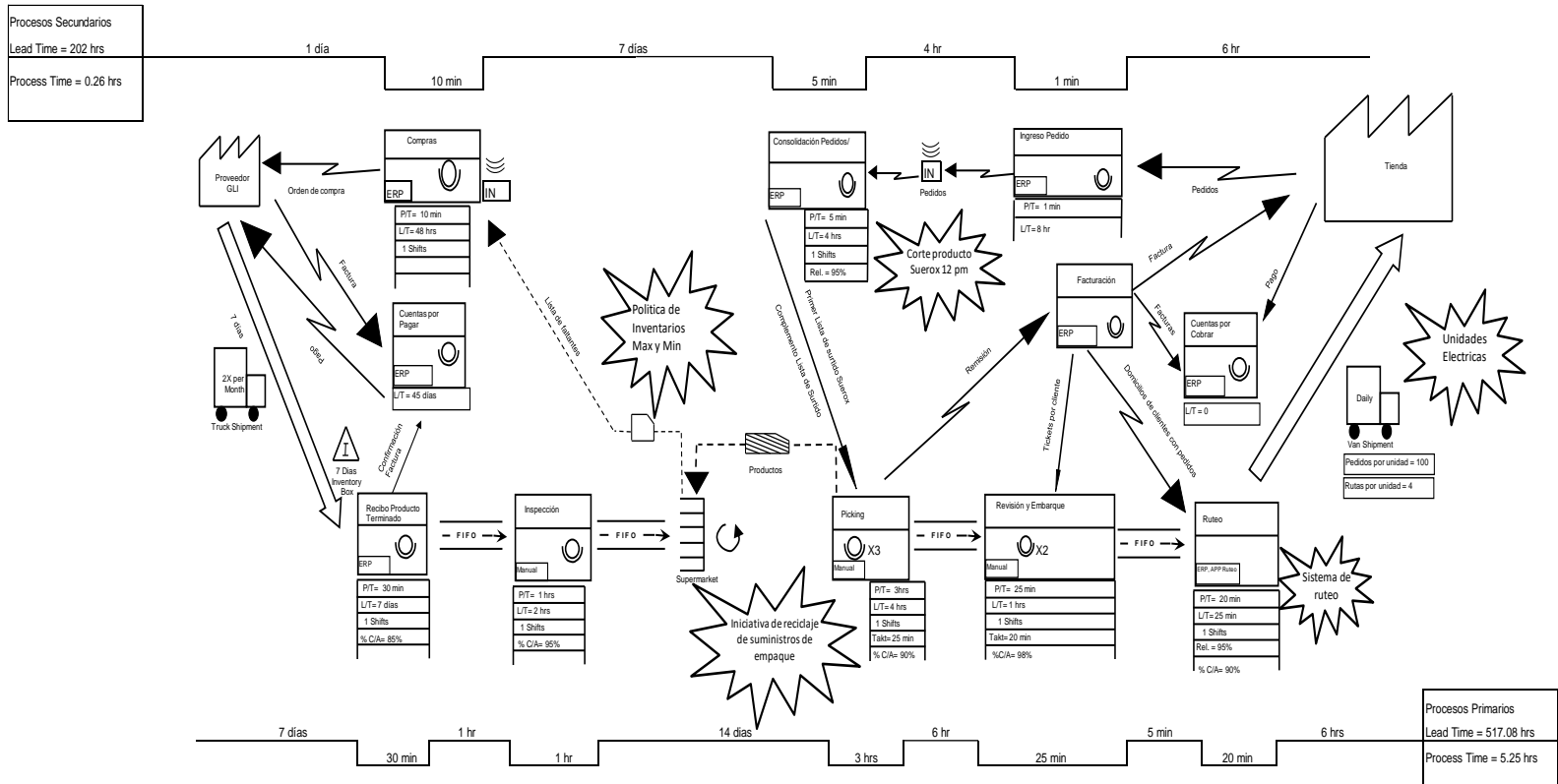
**Elaboración del Mapa de Ruta:** La planificación empírica de rutas lleva 2 horas. Utilizar software de optimización de rutas puede reducir este tiempo y optimizar las rutas de entrega.

### **Mapa de Cadena de Valor (VSM) – Futuro**

El VSM futuro representa una versión optimizada del proceso actual, destacando las mejoras esperadas tras la implementación de las herramientas y estrategias sugeridas. Esta optimización no solo busca incrementar la eficiencia sino también disminuir los costos y aumentar la satisfacción del cliente.

**Figura 11**

*Mapa de Cadena de Valor (VSM) en su Estado Futuro.*



Nota. Mapa de cadena de valor (VSM) que muestra el estado futuro proyectado de los procesos operativos después de la implementación de mejoras. Parte del análisis del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

**Mejoras Implementadas:**

**Corte del Producto con Mayor Demanda y Mayor Complejidad en Picking:** Este enfoque prioriza los productos que son más demandados y complejos de recoger, asegurando que se manejen con mayor atención y eficiencia. Al realizar un corte específico para estos productos, los encargados del picking pueden avanzar más rápidamente en sus tareas sin tiempos muertos. Con esta mejora se espera reducir el Lead Time de 6 a 4 horas.

**Implementación de una Política de Inventarios de Máximos y Mínimos:** Esta política asegura que el inventario suficiente para cumplir con la demanda sin exceder la capacidad de almacenamiento. Los inventarios se mantienen dentro de un rango óptimo, lo que reduce el tiempo dedicado a manejar faltantes y excesos de inventario. Con esta mejora se espera reducir el Lead Time de 15 a 7 días.

**Sistema de Ruteo Optimizado:** La implementación de un software avanzado de optimización de rutas permite planificar rutas de entrega más eficientes. El software considera múltiples variables como el tráfico, las distancias y los horarios de entrega para crear la ruta más efectiva. Con esta mejora se espera reducir el Lead Time de 12 a 6.08 horas.

**Propuesta de Cambiar a Unidades Eléctricas:** La transición a vehículos eléctricos además de disminuir el gasto operativo (combustible y mantenimiento), también contribuye a prácticas más sostenibles y a una disminución de contaminantes emitidos por la empresa.

**Implementación de un Programa de Reciclaje de Suministros de Empaque:** Este programa se enfoca en reutilizar y reciclar materiales de empaque, reduciendo los costos de materiales y apoyando las prácticas sostenibles.

## Resumen Global

### Procesos Primarios

- Lead Time Total Actual: 523.5 horas
- Lead Time Total Futuro: 517.08 horas

### Procesos Secundarios:

- Lead Time Total Actual: 396 horas
- Lead Time Total Futuro: 202 horas

De igual forma, se presenta a continuación el A3 del proyecto el cual es un formato que permite documentar de manera clara y concisa el análisis, las causas y las soluciones propuestas para un problema, facilita la comunicación y la colaboración entre los miembros del equipo, ya que proporciona una visión integral y estructurada del problema y las acciones necesarias para resolverlo.

## Figura 12

*Formato A3: Resumen del Análisis y Propuestas de Mejora.*

<b>INFORME A3: MEJORA RUTEO ULTIMA MILLA</b> EMPRESA: N/A FECHA: 13 DE ABRIL 2024 AREA: DISTRIBUCIÓN ULTIMA MILLA
<b>1)Background/Caso del Negocio</b>  <b>Producto:</b> Distribución y Comercialización de producto farmacéutico y de cuidado personal <b>Lugar:</b> AP DISTRIBUCIÓN, Guadalajara, Jalisco <b>Necesidades:</b> 1) Reducción del gasto de unidades 2) Uso de tecnología en el proceso de ruteo 3) Disminución del Lead Time 4) Mejoramiento del Porcentaje valor agregado 5) Mejorar Eficiencia de Operadores 6) Mejorar y eficientar proceso de Ruteo 7) Aumentar Nivel de Servicio 8) Mejorar la Sustentabilidad de la empresa
<b>Problemas de la empresa/ cliente:</b> -Tiempo de Entrega largo -Bajos rendimientos en combustible - Altos costos de operación que afectan rentabilidad - Cero enfoque en sustentabilidad
<b>3)Condiciones Objetivo</b> -Reducción de Lead Time -Mejorar la eficeincia operativa -Política de Inventarios Máximos y Mínimos -Implementar un sistema de Ruteo/reducción de costos logísticos -Aumentar satisfacción del cliente -Unidades Electricas - Iniciativa de Reciclaje de suministros de empaque

<b>4)Implementación</b> <span style="float: right;">Empresa: AP DISTR</span>												
Inicio: 01 de Abril 2024 Líder del Equipo: Jesus Lopez Encargado del Mapa: Dalia Navarro												
Programación Auditoria												
PROGRAMACIÓN MENSUAL												
<b>Departamento Involucrado</b>	<b>Objetivo del Mapa</b>	<b>Metas (Medibles)</b>	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Fecha
Consolidación	Realizar un Corte del producto con mayor demanda en el consolidado de pedidos	Reducción del Lead Time 4 horas										jun-24
Distribución	Optimización de rutas	Mejorar la utilización de vehículos a un 95%;										jul-24
Distribución/Sistemas	Implementación del Sistema de Ruteo	Reducción de un 60% devoluciones por impuntualidad										jul-24
Sistemas	Automatización del proceso de ordenes de compra	Tiempo de procesamiento < 7 días										ago-24
Lógica	Implementación de Política Inventarios Máximos y Mínimos	Reducir la incidencia de faltantes en un 50%										sep-24
Sostenibilidad	Implementación de iniciativa de reciclaje	Reciclar el 75% de los suministros de empaque										sep-24
Discreción/Finanzas/Distribución	Evaluación de costos para migración a unidades electricas	Migrar el 30% de la flota a unidades elctricas										nov-24

*Nota:* Formato A3 que documenta el análisis y las soluciones propuestas para optimizar la distribución en la última milla. Parte del análisis del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

## Figura 13

*Indicadores clave del formato A3 para evaluación del proyecto.*

5)Indicadores	Costo		Rendimiento	Indice Satisfacción	Tasa de Cumplimiento	LT (Días)	Tiempo VA	% VA
	% Utilización	Logístico	Vehiculos	del Cliente	Entregas			
Actual								
Futuro								
Meta	↑	↓	↑	↑	↑	↓	↓	↑

*Nota.* Indicadores clave del formato A3 que miden el desempeño y el progreso del proyecto de optimización. Fuente: Elaboración propia.

Con estas herramientas junto con el cálculo costo/beneficio se abordó con el personal directivo de la empresa la propuesta para la implementación del proyecto el cual fue aprobado.

### 4.3 Etapas del proceso de aplicación de la intervención

#### Identificación del Problema

1. Análisis de Datos: Recopilación y análisis de datos históricos sobre tiempos de ciclo, lead times, costos operativos, consolidación de pedidos y elaboración de mapas de ruta.
  - a. Actualmente son aproximadamente 880 clientes diarios a los que se realiza un pedido, estos pedidos se realizaron entre 43 vendedores, cada uno de estos vendedores visita 1 ruta, es decir, en la zona metropolitana de Guadalajara, actualmente se tienen 43 rutas. Los 880 pedidos se reparten en 11 unidades, las cuales a su vez reparten lo de 4 o 3 rutas. Visto gráficamente se presenta a continuación la zona que recorre cada unidad:

**Tabla 14**

*Ubicaciones de pedidos de un día correspondientes a una ruta.*

Día	Unidad	Folio	Ruta	Cliente	lat	lon
Lunes	0003	2248346	G030	ABARROTÉS	20.7426468294818	-103.393364287913
Lunes	0003	2248348	G030	ABARROTÉS	20.7421241511424	-103.39260019362
Lunes	0003	2248546	G030	ABARROTÉS	20.7414318425596	-103.392212279141
Lunes	0003	2248547	G030	ABARROTÉS	20.7433193793374	-103.392151929438
Lunes	0003	2248548	G030	ABARROTÉS	20.7436144224098	-103.392607569695
Lunes	0003	2248549	G030	ABARROTÉS	20.7463760729158	-103.394391238689
Lunes	0003	2248550	G030	ABARROTÉS	20.7445691540191	-103.394692651927
Lunes	0003	2248551	G030	ABARROTÉS	20.7430161835722	-103.395013511181
Lunes	0003	2248552	G030	ABARROTÉS	20.7439270232094	-103.396034426987
Lunes	0003	2248553	G030	ABARROTÉS	20.7434109336786	-103.396531641483
Lunes	0003	2248612	G030	ABARROTÉS	20.7425846666667	-103.39684123333333
Lunes	0003	2248616	G030	ABARROTÉS	20.7451952916419	-103.398858457804
Lunes	0003	2248812	G030	ABARROTÉS	20.746870204882	-103.400424197316
Lunes	0003	2248848	G030	ABARROTÉS	20.745755916666667	-103.40302064999999
Lunes	0003	2248870	G030	ABARROTÉS	20.7447077385335	-103.403839990497
Lunes	0003	2248872	G030	ABARROTÉS	20.7446008215325	-103.40437810868
Lunes	0003	2248960	G030	ABARROTÉS	20.7454533335836	-103.407491147518
Lunes	0003	2249198	G030	ABARROTÉS	20.7440442875353	-103.407204151154
Lunes	0003	2249200	G030	ABARROTÉS	20.7419507607485	-103.40716291219
Lunes	0003	2249201	G030	ABARROTÉS	20.7419507607485	-103.40716291219
Lunes	0003	2249204	G030	ABARROTÉS	20.7414218090786	-103.404688574374

*Nota.* Ubicaciones de una sola ruta de un día de los clientes a los que se les tiene que entregar pedidos. Fuente: Elaboración propia.

## Figura 14

*Puntos geográficos que reparte cada unidad en un día (cada color equivale a una unidad).*



*Nota.* Visualización gráfica del concentrado de los puntos en donde se entregarán pedidos, los cuales se recorren en un día por una unidad de reparto. Fuente: (Google Maps, 2024).

- b. Se recabo información histórica y de la cual se sacaron promedios de lo que reparten las unidades, kms recorridos, rendimientos de las unidades, costo por km recorrido y costo por pedido. A continuación, se muestra la información recabada:

**Tabla 15**

*Promedio de los Indicadores Clave por Unidad (Histórico).*

Marca	Capacidad Carga (kg)	Venta Promedio	% Costo	Costo por Km (\$)	Horario de Operación (Inicio)	Horario de Operación (Fin)	Pedidos Mensuales	KM Recorridos (mes)	Consumo (lts)	Rendimiento Promedio (km/lts)	Costo por mes	Pedidos por Litro	Costo por Pedido	Pedidos por día
Kangoo	700	\$ 18,000.00	35%	\$ 2.71	08:00 a. m.	04:00 p. m.	1815	2300	290	8	\$ 6,235	6	\$ 3.44	70
Transit	600	\$ 15,000.00	37%	\$ 3.07	08:00 a. m.	04:00 p. m.	1455	1808	239	8	\$ 5,560	6	\$ 3.82	51
NP300	1200	\$ 18,000.00	45%	\$ 4.03	08:00 a. m.	04:00 p. m.	1669	2020	300	7	\$ 8,150	6	\$ 4.88	63
Transit	600	\$ 14,000.00	43%	\$ 2.72	08:00 a. m.	04:00 p. m.	1666	2210	242	9	\$ 6,010	7	\$ 3.61	64
NP300	1200	\$ 17,000.00	46%	\$ 3.71	08:00 a. m.	04:00 p. m.	1897	2110	290	7	\$ 7,830	7	\$ 4.13	73
Kangoo	700	\$ 20,000.00	29%	\$ 2.32	08:00 a. m.	04:00 p. m.	2048	2468	246	10	\$ 5,717	8	\$ 2.79	78
Kangoo	700	\$ 19,000.00	24%	\$ 1.87	08:00 a. m.	04:00 p. m.	1972	2460	261	9	\$ 4,605	8	\$ 2.34	75
Kangoo	600	\$ 18,000.00	39%	\$ 1.85	08:00 a. m.	04:00 p. m.	1964	3766	226	17	\$ 6,984	9	\$ 3.56	75
Kangoo	600	\$ 20,000.00	28%	\$ 2.57	08:00 a. m.	04:00 p. m.	2013	2186	259	8	\$ 5,620	8	\$ 2.79	77
Kangoo	700	\$ 20,000.00	26%	\$ 2.04	08:00 a. m.	04:00 p. m.	1846	2582	246	10	\$ 5,268	7	\$ 2.85	71
Transit	600	\$ 14,000.00	43%	\$ 2.59	08:00 a. m.	04:00 p. m.	1606	2310	253	9	\$ 5,980	6	\$ 3.72	62

*Nota.* Información histórica sobre el parque vehicular que maneja la empresa, tales como rendimiento, kilómetros que recorren en promedio, pedidos que cargan, entre otros, para medir la mejora sobre estos indicadores. Fuente: Elaboración propia.

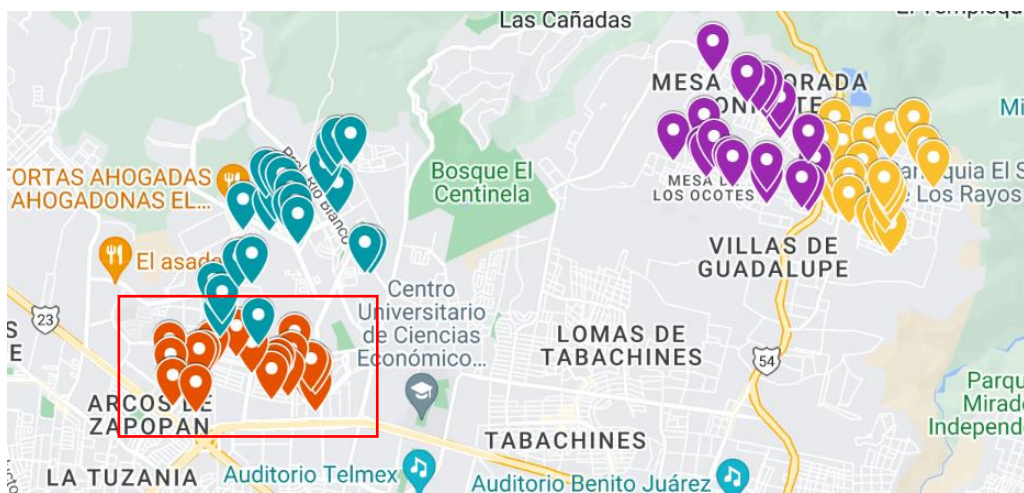
2. Observación Directa: Realización de observaciones directas en el área de trabajo para identificar ineficiencias y desperdicios.
  - a. Se observó el funcionamiento de la operación, los tiempos (tomar como base el VSM actual), en donde se observan áreas de oportunidad. Como hace el ruteo, los criterios del chofer, ellos deciden por dónde empezar, no hay un balanceo de pedidos, lo que hace que existan unidades que se van muy cargadas y otras no tanto.
3. Mediante la observación del proceso y entrevistas con diferente personal, nos percatamos de la gran ineficiencia que existe en el proceso de enrutamiento y entrega de pedidos, ya que el retraso de los choferes genera un atraso en el resto de los procesos como es el de liquidación, facturación, picking y entrega de producto en almacén. Esta ineficiencia genera tiempos muertos en otros procesos y hace que la productividad del personal sea por debajo de la esperada.

## Diseño

Dentro del universo de rutas con las que se cuenta actualmente, se delimitara a analizar el recorrido que hace un chofer para entregar los pedidos de una sola ruta, cabe señalar que cada chofer reparte lo de 4 rutas:

### Figura 15

*Rutas a realizar por un chofer en un día.*



Nota. Visualización gráfica de los puntos de la ruta sobre la que se realizará la mejora. Fuente: (Google Maps, 2024).

### Figura 16

*Delimitación de una ruta por chofer.*

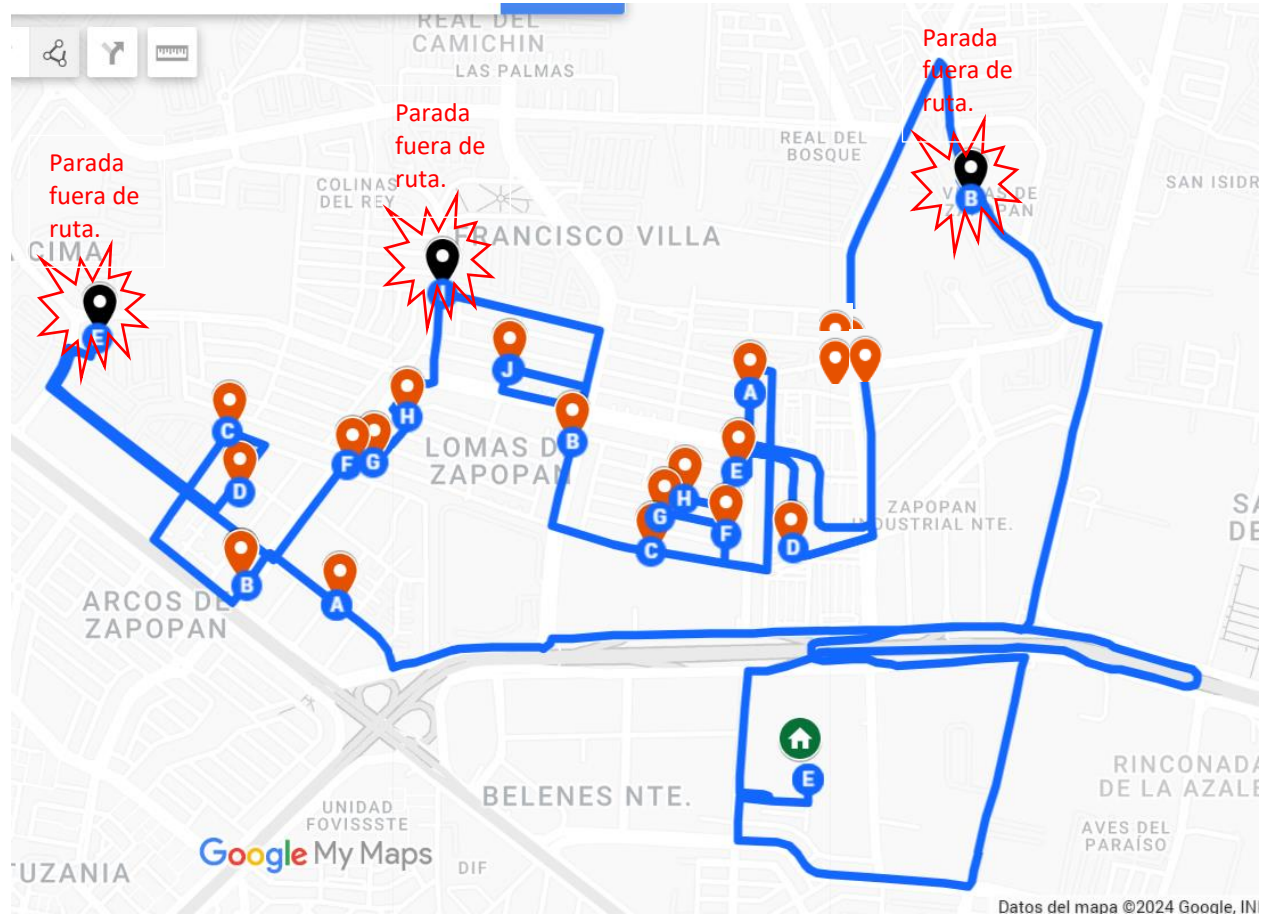


Nota. Delimitación de la ruta a generar eficiencias. Fuente: (Google Maps, 2024).

El recorrido actual del chofer que reparte la ruta establecida se visualiza de la siguiente manera:

### Figura 17

*Recorrido actual de la ruta seleccionada.*

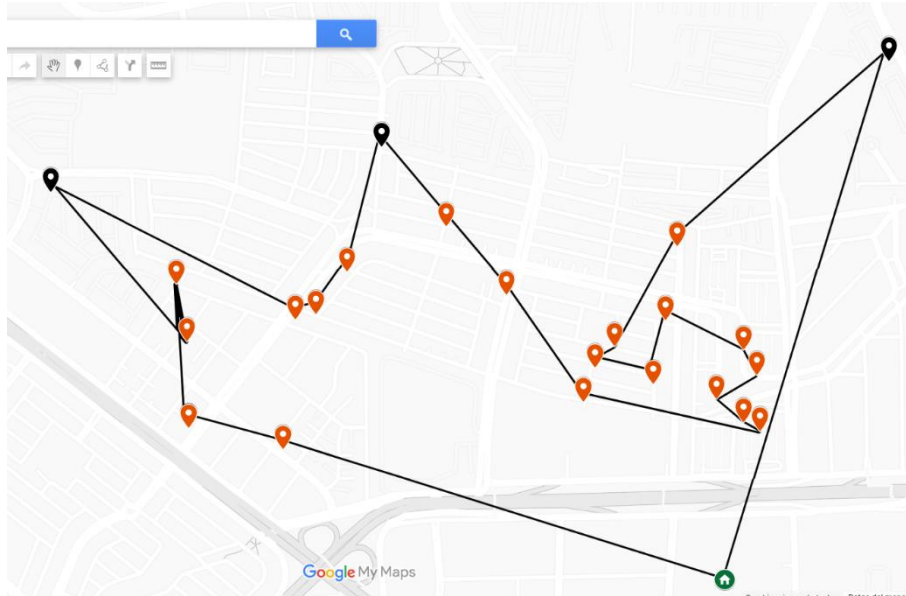


*Nota.* Visualización gráfica de como se ve el recorrido actual que sigue un chofer, en el cual se observa que no precisamente lleva un recorrido lógico y además tiene paradas fuera de la ruta que le corresponde, esto debido a la falta de seguimiento en tiempo real. Adaptado de (Google Maps, 2024).

Visto de una forma en tipo de grafo, el recorrido sería el siguiente:

### **Figura 18**

*Recorrido actual en forma de grafo.*



*Nota.* Visualización del recorrido en forma de grafo. Fuente: (Google Maps, 2024)

Como bien se menciona anteriormente, el chofer actualmente no tiene supervisión satelital, de igual forma el decide cómo realizar el recorrido. Para realizar este ejercicio, el chofer fue rastreado mediante la aplicación que utilizan para la entrega de los pedidos (celular), se puede observar que el chofer no respeta el horario laboral y realiza paradas en puntos que no están dentro de la ruta, estos pudieran ser asuntos personales y decide hacerlo en el transcurso del recorrido. Este factor es un punto clave dentro de la eficiencia de los choferes, ya que genera retrasos en las entregas y por consecuencia llega tarde al proceso de liquidación, retrasando consigo el resto de los procesos.

Actualmente para realizar el recorrido completo el chofer de la unidad de la cual se está implementando el ejercicio tarda hasta 10 horas en entregarlos, cuando debiera hacerlo en 8 o incluso menos.

La distancia que actualmente recorre el chofer es de 21.867km y el gasto que genera es de \$79.66 por entregar 20 pedidos, a continuación, se despliega la información:

**Tabla 16**

*Distancia y gasto actual de la unidad analizada.*

RECORRIDO ACTUAL			
Punto	Distancia (mts)	Consumo combustible (lts)	Gasto combustible (\$)
Almacén-A	4170	0.60	\$ 15.19
A-B	329	0.05	\$ 1.20
B-D	669	0.10	\$ 2.44
D-C	255	0.04	\$ 0.93
C-E	2125	0.30	\$ 7.74
E-F	82	0.01	\$ 0.30
F-G	184	0.03	\$ 0.67
G-H	1677	0.24	\$ 6.11
H-I	359	0.05	\$ 1.31
I-J	488	0.07	\$ 1.78
J-K	96	0.01	\$ 0.35
K-L	89	0.01	\$ 0.32
L-M	190	0.03	\$ 0.69
M-P	767	0.11	\$ 2.79
P-S	100	0.01	\$ 0.36
S-T	898	0.13	\$ 3.27
T-R	853	0.12	\$ 3.11
R-Q	556	0.08	\$ 2.03
Q-N	386	0.06	\$ 1.41
N-O	974	0.14	\$ 3.55
O-Almacén	6620	0.95	\$ 24.12
<b>TOTALES</b>	<b>21867</b>	<b>3.12</b>	<b>\$ 79.66</b>

*Nota.* Información sobre cuantos kilómetros recorre en total y cuanto gasto en combustible genera con el recorrido que sigue actualmente el chofer sin ninguna optimización. Fuente: Elaboración propia.

Se tiene caracterizado el problema con un enfoque en el VRP, entonces se propondrá una heurística utilizando un algoritmo que permita calcular la ruta más óptima que de la menor distancia y que cumpla con la ventana de tiempo de cada chofer.

### Implementación

1. Capacitación del Personal: Implementar capacitaciones para asegurar que los empleados estén familiarizados con las nuevas herramientas y procesos.
2. Instalación de Tecnologías: Implementar el software de gestión de pedidos, sistemas de optimización de rutas y dispositivos GPS.
3. Reestructuración de Procesos: Ajustar los procesos operativos según el VSM futuro, incluyendo la nueva política de inventarios.
4. Monitoreo y Supervisión: Supervisar de cerca la implementación para identificar y resolver cualquier problema que surja en tiempo real.

### Evaluación

1. Medición de Resultados: Recopilar y analizar datos post-implementación sobre tiempos de ciclo, lead times, costos operativos, y eficiencia del ruteo.
2. Comparación con el Estado Inicial: Comparar los resultados actuales con los datos del estado inicial para medir las mejoras logradas.
3. Recolección de Retroalimentación: Obtener retroalimentación del personal y los clientes para evaluar la efectividad de los cambios desde múltiples perspectivas.
4. Informe de Resultados: Preparar un informe detallado que resuma los hallazgos, las mejoras alcanzadas, y las áreas que aún requieren atención.
5. Plan de Mejora Continua: Elaborar un plan de continuidad en la mejora fundamentado en los logros alcanzados para mantener y de esta forma potencializarlos.

### 4.3.1 Cronograma de la implementación de la estrategia

**Tabla 17**

*Cronograma de la implementación de la estrategia.*

Actividad	Objetivo	Duración	Recursos Necesarios
Definición de objetivos	Establecer metas claras	1 semana	Equipo de gestión
Recolección de datos geoespaciales	Utilización de SIG para recopilar datos precisos	2 semanas	Software SIG, equipo de análisis de datos
Selección de herramientas y software	Adquirir herramientas adecuadas.	1 semana	Equipo técnico, software
Desarrollo e implementación del modelo VRP	Crear modelo de optimización	2 semanas	Equipo técnico
Optimización de rutas	Aplicación del modelo y optimización de rutas	2 semanas	Equipo técnico, software de optimización
Instalación de dispositivos GPS	Equipar vehículos con dispositivos GPS	1 semana	Dispositivos GPS, equipo de instalación
Capacitación del personal	Preparar al personal	1 semanas	Instructores
Pruebas Piloto	Validar modelo y ajustar	3 semanas	Equipo técnico
Monitoreo y evaluación continua	Asegurar eficiencia y hacer ajustes continuos	Continuo	Software de seguimiento, equipo de monitoreo

*Nota.* Actividades a seguir y tiempo en las que se implementaran para lograr la estrategia de mejora. Fuente: Elaboración propia.

### 4.3.2 Imprevistos

- Problemas técnicos: Los problemas técnicos y las fallas del sistema pueden ocurrir en cualquier momento durante la implementación de nuevas tecnologías, como el software de optimización de rutas y los dispositivos GPS. Estos problemas pueden incluir errores de software, incompatibilidad con sistemas existentes, y fallos en los dispositivos de hardware.

- Posible solución: Contar con soporte técnico y hacer evaluaciones exhaustivas antes de la ejecución total, así como capacitar al personal para que sepa solucionar problemas y utilizar las herramientas de la forma más eficiente.
- Resistencia al cambio: El rechazo al cambio es una respuesta habitual entre los empleados cuando se introducen nuevos sistemas y procesos. Esta resistencia puede manifestarse como falta de cooperación, disminución en la productividad y actitudes negativas hacia el proyecto.
  - Posible solución: Informar a todos los empleados sobre las ventajas del nuevo sistema y cómo beneficiará sus roles y responsabilidades. Incluir a los empleados en el proceso de ejecución, solicitando su retroalimentación y haciéndolos sentir parte del cambio. De igual forma, implementar programas de capacitación completos que expliquen la importancia y beneficios del cambio.
- Condiciones climáticas adversas: Impacto en las rutas planificadas.
  - Posible solución: Incorporar flexibilidad en las rutas y contar con planes de contingencia.

## CAPÍTULO 5

### Implementación: Exposición de hallazgos

#### 5.1 Sistematización y aplicación de escalas de medición de resultados

Para abordar la problemática del enrutamiento de vehículos (VRP), se ha implementado una metodología basada en la optimización de rutas, con el objetivo de minimizar los costos operativos mediante la disminución de los kilómetros recorridos por los vehículos. El método se centra en utilizar algoritmos de optimización que ayudan a identificar la mejor ruta para cumplir con la demanda de los consumidores, comenzando y terminando en un depósito central.

Metodología de sistematización

1. Recolección de Datos
  - Ubicaciones de los Puntos: Se obtuvieron las coordenadas geográficas (latitud y longitud) de todos los puntos a visitar, incluyendo el depósito:

**Tabla 18**

*Coordenadas geográficas de los puntos que visita la unidad.*

<b>Punto</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
<b>0</b>	20.7383151	-103.39314
<b>1</b>	20.7426468	-103.39336
<b>2</b>	20.7421242	-103.3926
<b>3</b>	20.7414318	-103.39221
<b>4</b>	20.7433194	-103.39215
<b>5</b>	20.7436144	-103.39261
<b>6</b>	20.7463761	-103.39439
<b>7</b>	20.7445692	-103.39469
<b>8</b>	20.7430162	-103.39501
<b>9</b>	20.743927	-103.39603
<b>10</b>	20.7434109	-103.39653
<b>11</b>	20.7425847	-103.39684
<b>12</b>	20.7451953	-103.39886
<b>13</b>	20.7468702	-103.40042
<b>14</b>	20.7457559	-103.40302
<b>15</b>	20.7447077	-103.40384
<b>16</b>	20.7446008	-103.40438
<b>17</b>	20.7454533	-103.40749
<b>18</b>	20.7440443	-103.4072
<b>19</b>	20.7419508	-103.40716
<b>20</b>	20.7419508	-103.40716
<b>21</b>	20.7414218	-103.40469

*Nota.* Puntos geográficos necesarios para subirlos al software del VRP, poder saber la distancia entre un punto y otro y con los cuales se genera la matriz de distancias. Fuente: Elaboración propia.

- **Matriz de Distancias:** Se construyó una matriz de distancias la cual refleja la separación en metros entre cada par de puntos, esencial para los cálculos de optimización.

**Tabla 19**

*Matriz de Distancias entre Puntos de Distribución.*

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	0	4170	2190	2710	2530	2370	2460	2600	2950	4030	4060	4160	3810	4310	3600	3740	3700	3150	3050	3070	3060
1	2740	0	329	308	688	508	596	736	1090	1300	1360	1460	1570	1620	1760	1970	2010	2190	2090	1820	1860
2	2410	928	0	912	670	607	693	835	1180	1400	1470	1550	1660	1720	1860	2060	2111	2280	2180	1920	1940
3	3390	1270	556	0	376	707	788	935	1290	1490	1560	1680	1770	1830	1950	2120	2210	2940	2850	2020	2060
4	3390	900	548	258	0	340	426	569	915	1130	1190	1290	1400	1460	1590	1760	1850	2580	2490	1660	1700
5	3460	931	420	386	336	0	82	226	575	786	850	950	1160	1120	1250	1350	1510	1680	1580	1320	1350
6	3380	1430	1220	1180	1120	855	0	184	534	733	766	866	975	1040	1200	1490	1460	1600	1500	1230	1270
7	3530	1580	1040	1010	948	709	177	0	422	637	855	951	1020	1130	1100	1310	1350	2130	2030	1460	1480
8	3460	1520	1310	1270	1220	965	939	852	0	367	848	948	748	1120	821	832	1080	1660	1570	1180	1200
9	3120	1160	1490	1250	1200	1670	623	496	407	0	488	594	698	767	956	1220	1380	1330	1230	960	998
10	3530	1590	1920	2160	2270	2100	2180	2320	1310	1130	0	96	213	275	467	945	890	830	735	469	507
11	3600	1670	2000	1620	1570	2180	1300	1200	766	588	472	0	89	185	328	1020	975	921	816	554	592
12	3750	1660	2110	1600	1540	2170	1280	1190	760	577	575	108	0	190	235	1010	955	895	793	532	572
13	3430	1480	1800	2050	2160	1980	2060	2210	1190	1020	649	202	182	0	194	827	767	721	617	354	393
14	3560	1610	1920	1630	1580	2120	1300	1210	783	596	790	338	216	191	0	974	777	860	754	493	532
15	3760	1800	1730	1710	1650	1400	1380	1170	859	670	1170	584	461	435	251	0	501	977	874	609	648
16	3530	1590	1910	2160	2270	2110	2180	2320	1820	1450	1460	1570	1070	1740	860	1160	0	465	100	100	143
17	3860	1920	1870	1840	1780	1540	1510	1310	996	809	1300	724	599	570	386	535	521	0	367	696	440
18	3970	2130	2450	2700	2820	2650	2720	2860	1560	1370	2010	1290	1170	1040	952	1110	1080	556	0	799	544
19	3430	2490	2810	3060	3170	3000	3080	2220	1910	1730	2360	2460	1520	1490	1310	1460	1440	916	812	0	898
20	3510	2530	2850	3090	3210	3040	3110	3250	1950	1760	2400	1680	1550	1540	1360	1500	1470	953	853	1350	0

Nota. Esta matriz muestra la distancia en metros entre un punto y otro, siendo el punto 0 el almacén. Fuente: Elaboración propia.

## 2. Modelado del Problema

- **Definición del Problema:** En el contexto del problema en este trabajo de investigación, el VRP se define como el problema de determinar el recorrido más corta que pase por todos los puntos una vez y vuelva al depósito, con el objetivo de disminuir los kilómetros recorridos.
- **Algoritmo Utilizado:** Se empleó el algoritmo de búsqueda más cercana (Nearest Neighbor) para encontrar una solución inicial al problema. Este algoritmo selecciona el punto más cercano al último punto visitado, asegurando que cada punto se visite solo una vez antes de regresar al depósito.

### 3. Implementación

- **Herramientas Utilizadas:** Se utilizó Python para la implementación del algoritmo mediante la herramienta Google OR-Tools, y Graph Online para la visualización del grafo y la optimización del recorrido.
- **Visualización:** Se generaron gráficos para representar visualmente la ruta optimizada, facilitando la comprensión de los cambios en las rutas.

Para medir los cambios y resultados de la implementación, se realizó una comparativa entre las medidas actuales y las medidas optimizadas. Comparando las distancias de manera proporcional, proporcionando una medida absoluta de las distancias recorridas en diferentes escenarios.

- **Medición de la Distancia Actual:** La distancia recorrida en el recorrido actual, que es de 21.867 km, el consumo de gasolina que es de 3.12 lts y \$79.66 de gasto se tomaron como referencia.
- **Medición de la Distancia Optimizada:** La distancia recorrida con la ruta optimizada utilizando el algoritmo Nearest Neighbor se calculó en 15.310 kms, el consumo de gasolina que es de 2.19 lts y \$55.77 de gasto:

## 5.2 Organización de la información obtenida

La organización de la información es fundamental para entender los logros obtenidos en la optimización de rutas. En seguida se expone la ruta optimizada y su representación gráfica, junto con una explicación detallada de cada punto. Esta sección se centra en presentar los datos recolectados y los resultados del algoritmo de optimización, proporcionando una base sólida para los análisis posteriores.

## Ruta Obtenida

La ruta optimizada obtenida a partir de la implementación del algoritmo de búsqueda más cercana (Nearest Neighbor) es la siguiente:

0 -> 2 -> 5 -> 6 -> 7 -> 8 -> 9 -> 10 -> 11 -> 12 -> 13 -> 14 -> 19 -> 18 -> 20 -> 17 -> 16 -> 15 -> 4 -> 3 -> 1 -> 0

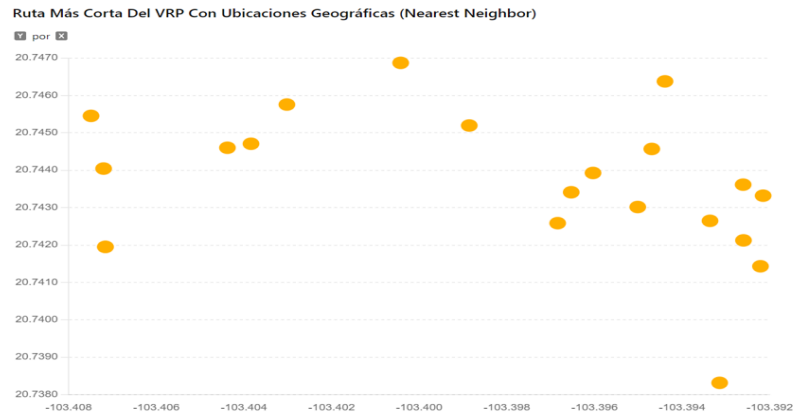
- Inicio y Fin en el Depósito (0): La ruta inicia y finaliza en el almacén central, asegurando que todos los vehículos regresen al punto de partida y pasando por cada punto una sola vez. Cada número representa una ubicación, que en este caso sería un cliente al cual se le entregara un pedido.
- Secuencia de Puntos: La secuencia de puntos representa el recorrido, el cual debe visitar cada punto una vez y regresar al depósito. Esta secuencia minimiza la distancia total recorrida.
- Optimización de Distancia: La distancia total de la ruta optimizada es de 15,310 unidades, lo cual representa una mejora significativa en comparación con la ruta original.

## Representación Gráfica del Grafo

El grafo generado a partir de la ruta optimizada proporciona una visualización clara de la secuencia de visitas y las distancias entre los puntos.

**Figura 19**

*Gráfica de los puntos en base a su longitud y latitud.*

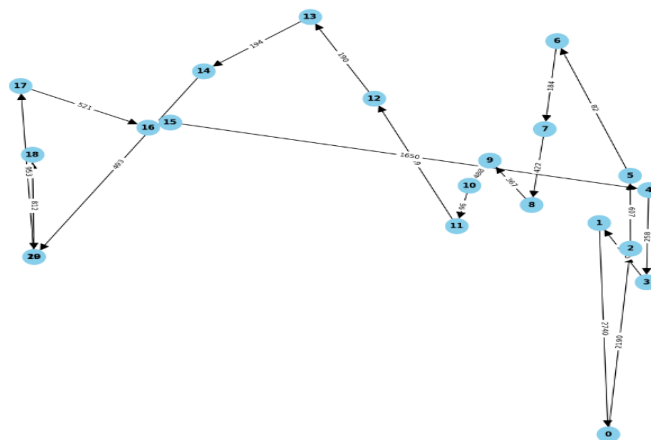


Nota. En el gráfico se pueden visualizar los puntos (nodos) generados por el software del recorrido más corto. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra el grafo que representa la ruta más corta utilizando el algoritmo de búsqueda más cercana (Nearest Neighbor) para el VRP:

**Figura 20**

*Grafo de la ruta más óptima.*



Nota. Grafo que representa el recorrido que debe seguir la unidad para lograr que se recorra la menos distancia posible. Fuente: Elaboración propia.

- **Nodos:** Cada nodo del grafo representa un punto de entrega, incluyendo el depósito (0).
- **Aristas:** Las aristas conectan los nodos, representando las separaciones entre dos puntos en la secuencia del recorrido.

**Visualización de la Ruta:** El grafo muestra de manera visual cómo se conecta cada punto de entrega, permitiendo una comprensión intuitiva de la ruta optimizada.

### **5.3 Impacto de la estrategia en la organización**

En esta sección se detallan los impactos generados en la organización como resultado de la intervención basada en la optimización del enrutamiento de vehículos (VRP). Los resultados se presentan de manera rigurosa, coherente y verificable, demostrando cómo la estrategia aborda efectivamente el problema identificado y cómo se han medido las variables a lo largo del tiempo. La evidencia presentada incluye datos cuantitativos y cualitativos, así como análisis comparativos antes y después de la intervención.

#### **Impacto Cuantitativo**

1. Reducción de la Distancia Recorrida
  - Antes de la Intervención: 21,867 unidades
  - Después de la Intervención: 15,310 unidades

**Tabla 20**

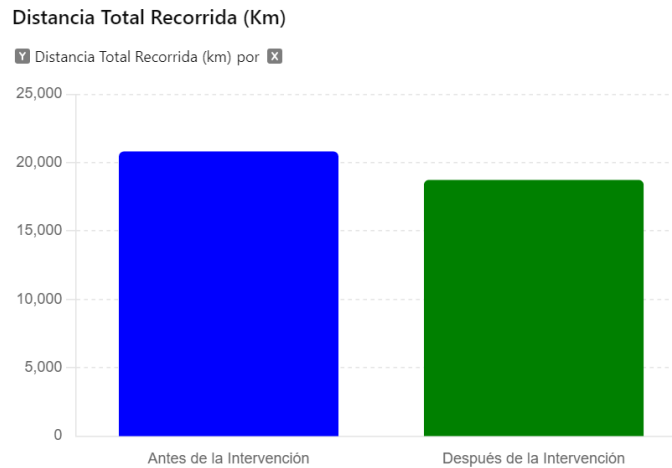
*Ruta de Distribución Optimizada.*

<b>RECORRIDO OPTIMIZADO</b>				
<b>Punto</b>	<b>Distancia (mts)</b>	<b>Consumo</b>	<b>Gasto</b>	
		<b>combustible</b>	<b>combustible</b>	
		<b>(Its)</b>	<b>(\$)</b>	
Almacén-B	2190	0.31	\$	7.98
B-E	607	0.09	\$	2.21
E-F	82	0.01	\$	0.30
F-G	184	0.03	\$	0.67
G-H	422	0.06	\$	1.54
H-I	367	0.05	\$	1.34
I-J	488	0.07	\$	1.78
J-K	96	0.01	\$	0.35
K-L	89	0.01	\$	0.32
L-M	190	0.03	\$	0.69
M-N	194	0.03	\$	0.71
N-S	493	0.07	\$	1.80
S-R	812	0.12	\$	2.96
R-T	544	0.08	\$	1.98
T-Q	953	0.14	\$	3.47
Q-P	521	0.07	\$	1.90
P-O	1160	0.17	\$	4.23
O-D	1650	0.24	\$	6.01
D-C	258	0.04	\$	0.94
C-A	1270	0.18	\$	4.63
A-Almacén	2740	0.39	\$	9.98
<b>TOTALES</b>	<b>15310</b>	<b>2.19</b>	<b>\$</b>	<b>55.77</b>

*Nota.* Datos totales de los kilómetros recorridos y el gasto generado de gasolina con el recorrido optimizado. Fuente: Elaboración propia.

## Figura 21

*Distancia Total Recorrida Antes y Después de la Intervención.*



*Nota.* Gráfico que muestra la disminución en el total de kilómetros recorridos entre antes y después de la intervención. Fuente: Elaboración propia.

## Tabla 21

*Porcentaje de reducción en los indicadores clave.*

KPI	Medición Actual	Medición Optimizada	% Reducción
<b>Distancia (mts)</b>	21867	15310	<b>30%</b>
<b>Consumo combustible (lts)</b>	3.12	2.19	<b>30%</b>
<b>Gasto combustible (\$)</b>	\$79.66	\$55.77	<b>30%</b>

*Nota.* Comparativa de los Indicadores Clave de Desempeño antes y después de la intervención, la cual muestra una optimización significativa. Fuente: Elaboración propia.

La implementación del algoritmo de búsqueda más cercana (Nearest Neighbor) resultó en una reducción del 30% en la distancia total recorrida. Esto se traduce en un ahorro

directo en costos operativos relacionados con el consumo de combustible y el mantenimiento de vehículos.

Este resultado corresponde al recorrido de 1 sola ruta en 1 día, traduciéndolo al total de rutas que recorre esta unidad por mes estaríamos hablando de los siguientes porcentajes de optimización en los diferentes indicadores:

**Tabla 22**

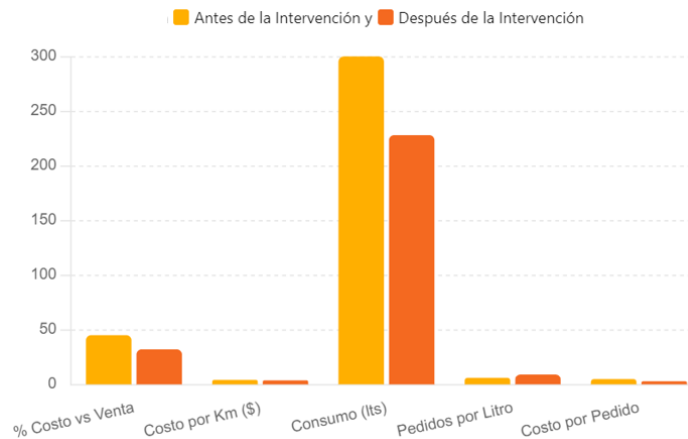
*Comparativa de indicadores antes y después de la optimización.*

<b>Parámetro</b>	<b>Antes de la Intervención</b>	<b>Después de la Intervención</b>	<b>% Optimización</b>
% Costo vs venta	45%	32%	29%
Costo por km (\$)	\$4.03	\$3.65	9%
Pedidos Mensuales	1669	2080	-25%
Km Recorridos/mes	2020	1592	21%
Consumo (lts)	300	228	24%
Costo por mes	\$8,150	\$5,814	29%
Pedidos por litro	6	9	-64%
Costo por Pedido	\$4.88	\$2.80	43%
Pedidos por día	63	80	-26%

*Nota.* Comparativa de los indicadores que se tomaron como base para medir el porcentaje de optimización. Fuente: Elaboración propia.

## Figura 22

Parte 1 de los parámetros antes y después de la intervención.



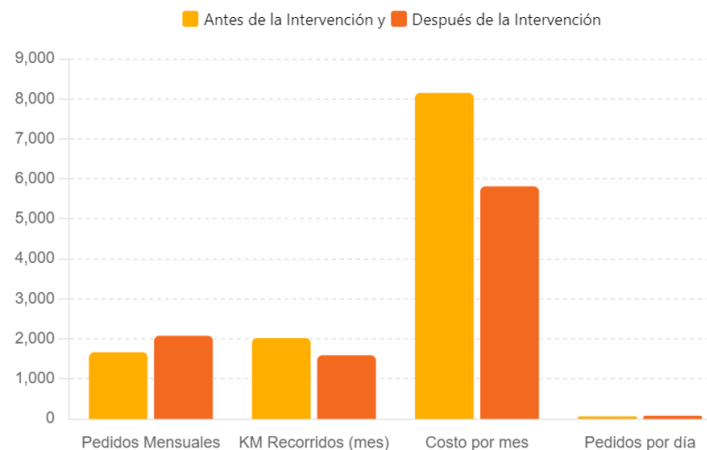
Nota. Gráfico que ilustra la comparativa de la primera parte de los indicadores clave antes y después de la optimización. Fuente: Elaboración propia.

- Porcentaje de costo vs venta (margen): Con la implementación de la optimización el costo por la unidad contra lo que vende reduce un 29%, es decir se genera un mayor margen de utilidad esta unidad.
- Costo por km: El costo por kilómetro recorrido disminuye de \$4.03 a \$3.65, es decir, sale un 9% más barato recorrer un km en esta unidad.
- Pedidos Mensuales: Debido a la eficiencia del recorrido, es posible mejorar la utilización de los vehículos y de esta forma repartir más pedidos en el mismo periodo de tiempo, incrementando un 25% en los pedidos que reparte la unidad.
- Kms Recorridos: Además de incrementar el número de pedidos, se haría recorriendo una menor distancia que la que actualmente se recorre, 21% menos en kilómetros recorridos.
- Consumo de combustible: Durante el recorrido de una ruta de un día se observó una eficiencia de un 30% en el consumo de combustible, calculado a un mes el porcentaje de reducción es de un 24% de lo que actualmente se consume.

- Costo por mes: El costo por mes con el precio de gasolina actual reduciría un 29%.
- Pedidos por litro: El número de pedidos incrementaría hasta un 64%, de venir entregando 6 pedidos por litro, subiría a 8-9 pedidos por litro.
- Costo por pedido: El costo por pedido disminuye un 43%, es decir, al incrementar el número de pedidos a repartir y disminuir el costo de combustible debido a la reducción de distancia se vuelve más barato el pedido repartido.

### Figura 23

Parte 2 de los parámetros antes y después de la intervención.



Nota. Gráfico que ilustra la comparativa de la segunda parte de los indicadores clave antes y después de la optimización. Fuente: Elaboración propia.

Esta disminución en los costos no solo mejora la rentabilidad, sino que también apoya a que la empresa a una buena sostenibilidad ambiental disminuyendo la emisión de contaminantes.

Además de la reducción de costos, se observó un aumento en la eficiencia operativa. Debido a la supervisión constante que tendrían las unidades y al generar rutas más optimas, se genera de igual forma una eficiencia en la entrega de pedidos del 18%, es decir se entrega los pedidos en menos de una hora (54 min) cuando en el recorrido actual es mayor a la hora (66 min). Esto a su vez genera una mejora en la satisfacción del cliente.

Adicional al estudio de ruta optima, se corrió un análisis en el tipo de unidades con las que actualmente se realiza el reparto para definir si los modelos que se están utilizando actualmente son los adecuados.

Se tienen 3 diferentes marcas de unidades, y de estas se determinó que la unidad Kangoo es la que mayor se adapta al modelo de negocio.

- Kangoo: Mejor rendimiento en términos de costo por km, costo por pedido y número de pedidos por día.
- Transit: Tiene un rendimiento aceptable pero no tan eficiente como la Kangoo en términos de costo por km y costo por pedido.
- NP300: Aunque tiene una mayor capacidad de carga, la empresa no la utiliza al 100%, esto hace que tenga un mayor costo por km y un costo por pedido elevado, lo que reduce su eficiencia general.

Este análisis pudiera significar otro ahorro para la compañía, en el proceso de adquisición de nuevas unidades esta observación pudiera ser de gran utilidad para generar más eficiencias en un futuro teniendo de inicio la unidad adecuada.

## **Contribución a los Objetivos Estratégicos de la Organización**

### **1. Reducción de Costos Operativos**

La optimización de rutas ha permitido a la organización reducir los costos operativos, alineándose con los objetivos estratégicos de incrementar la productividad operativa y la rentabilidad.

### **2. Mejora en la Satisfacción del Cliente**

La mejora en la puntualidad y fiabilidad de las entregas ha incrementado la satisfacción del cliente, contribuyendo a la lealtad de clientes a largo plazo.

### **3. Sostenibilidad Ambiental**

La reducción en el recorrido y gasto de gasolina contribuye a una menor huella de carbono, alineándose con los objetivos de sostenibilidad de la organización.

La intervención basada en la optimización del enrutamiento de vehículos ha generado impactos significativos y positivos en la organización. La reducción de kilómetros recorridos, la disminución de los costos operativos, el aumento en la eficiencia en la operación y la mejora en la satisfacción del cliente son evidencias claras de la efectividad de la estrategia implementada. Estos resultados no solo respaldan la validez de la propuesta, sino que también contribuyen de manera tangible a los objetivos estratégicos de la empresa, brindando una base sólida para futuras optimizaciones y mejoras.

## CAPÍTULO 6

### Discusión final

#### 6.1 Relevancia y trascendencia disciplinaria de la estrategia de intervención

##### ***Contribución al Conocimiento***

Este documento cuenta con aproximaciones al ámbito de la logística, específicamente en el marco de la distribución en la última milla. La aplicación del Problema de Enrutamiento de Vehículos al canal tradicional de distribución, específicamente para changarros y pequeñas tiendas de conveniencia, es una contribución significativa, ya que aborda un segmento del mercado que ha sido tradicionalmente menos estudiado.

Los estudios previos sobre el VRP han abordado principalmente contextos industriales y comerciales más estructurados, donde la predictibilidad y la homogeneidad son mayores. Sin embargo, el enfoque en el canal tradicional introduce variables complejas como la variabilidad de la demanda, las restricciones geográficas y las ventanas de tiempo específicas, lo que exige una adaptación y personalización del modelo de VRP. Esta investigación proporciona una base sólida para futuras exploraciones y aplicaciones en otros contextos similares, ampliando el alcance y la aplicabilidad del VRP.

##### ***Innovación y Originalidad***

La intervención ofrece perspectivas frescas y metodologías creativas que se destacan en varios aspectos clave:

- **Personalización del Modelo VRP:** La adaptación del VRP para el canal tradicional de distribución es un enfoque original que considera las particularidades de los changarros, como sus patrones de demanda y restricciones operativas. Esta personalización va más allá de las aplicaciones

estándar del VRP, proponiendo soluciones específicas para un sector dinámico y heterogéneo.

- **Integración de Tecnologías Emergentes:** La implementación de dispositivos GPS y el uso de algoritmos de optimización avanzados, como los basados en inteligencia artificial y aprendizaje automático, representan una práctica única que permite ajustes dinámicos y precisos en las rutas de distribución. Estas tecnologías aumentan la productividad operativa y además abre nuevas posibilidades para la automatización y la mejora continua.
- **Metodología de Capacitación Continua:** La intervención incluye un componente de capacitación continua para el personal, lo cual es fundamental para el éxito y la sostenibilidad de la implementación. Este enfoque asegura que los empleados estén bien equipados para adaptarse a las nuevas tecnologías y prácticas, fomentando una cultura de desarrollo continuo dentro de la empresa.

### ***Significado y Trascendencia***

La optimización de la distribución en la última milla no solo disminuye el gasto operativo, también aumenta significativamente la precisión de las entregas, lo que tiene un efecto directo en la satisfacción del cliente. Este aumento en la eficiencia de la operación y experiencia del consumidor puede influir positivamente cuando se toman decisiones dentro de la empresa, fomentando una mayor competitividad en el mercado.

Además, esta implementación puede traer consigo grandes cambios en la empresa, promoviendo una mayor integración de tecnologías avanzadas y prácticas basadas en datos. Este enfoque basado en la optimización y la eficiencia puede ser replicado en cualquiera de los diferentes sectores de la cadena de suministro, ampliando su impacto y contribuyendo al avance general de la organización.

### **Relevancia Social o Práctica**

En el contexto económico, la disminución del gasto operativo y el aumento en la eficiencia de las entregas pueden traducirse en precios más competitivos para los consumidores finales, mejorando el acceso a productos esenciales en los changarros y tiendas de conveniencia.

La optimización de rutas contribuye a la reducción de contaminantes de la organización, promoviendo prácticas de logística más sostenibles y responsables con el medio ambiente. Este enfoque alineado con la sostenibilidad es crucial en el contexto actual, donde las empresas están cada vez más comprometidas con la responsabilidad ambiental.

Además, la intervención aborda problemas sociales relevantes al cumplir con las entregas en tiempo y forma, lo cual podría generar un efecto positivo en la satisfacción y la lealtad del cliente. La implementación de tecnologías avanzadas y prácticas de optimización también puede contribuir en la generación de políticas relacionadas con la gestión de la distribución y la logística, promoviendo estándares más altos y prácticas más eficientes en el sector.

### **6.2 Aspectos de mejora para intervenciones subsecuentes**

En esta ejecución para la optimización en la última milla utilizando el VRP, se identificaron varias limitantes y áreas de mejora que pueden ser abordadas en futuras intervenciones. Reconocer y analizar estas limitaciones es crucial para el avance continuo en la operación y la disminución de costos logísticos. En seguida se presentan los aspectos de mejora con mayor relevancia:

#### **Limitantes**

##### **1. Datos en Tiempo Real Limitados:**

La intervención se basó en datos históricos y en el uso de dispositivos GPS para el monitoreo de los vehículos. Sin embargo, la carencia de integración del monitoreo sobre

el tráfico, las condiciones meteorológicas y otros factores dinámicos limitó la capacidad para ajustar las rutas de manera óptima en situaciones cambiantes.

#### 2. Dependencia de la Experiencia del Personal:

Aunque se implementaron programas de capacitación, la planificación de rutas aún se basaba en mayor parte de la experiencia y el conocimiento de los conductores. Esta dependencia puede introducir variabilidad y limitar la consistencia en la eficiencia operativa.

#### 3. Escalabilidad de la Solución:

La intervención fue implementada en una fase piloto con un distribuidor seleccionado. La escalabilidad de la solución a todos los distribuidores de la empresa y su adaptación a diferentes contextos y regiones no fueron completamente evaluadas, lo que puede representar un desafío para la expansión del modelo.

#### 4. Costos de Implementación:

La adquisición de herramientas de software especializado, dispositivos GPS y la capacitación del personal implicaron costos significativos. Para algunas organizaciones, especialmente las más pequeñas, estos costos pueden ser una barrera para la implementación de soluciones similares.

### **Aspectos de Mejora para Futuras Intervenciones**

#### 1. Monitoreo en Tiempo Real:

Futuras intervenciones deben enfocarse en agregar información que este monitoreada en tiempo real para que las rutas puedan ser modificadas y estas tengan la capacidad de adaptarse y responder en el momento del cambio. Esto puede incluir:

Implementación de sistemas de información geográfica (SIG) avanzados que integren datos de tráfico en tiempo real, condiciones meteorológicas y otros factores relevantes.

Utilización de plataformas de big data que procesen una gran cantidad de información en tiempo real, proporcionando argumentos que ayuden a tomar las mejores decisiones.

## 2. Automación y Reducción de la Dependencia del Personal:

Reducir la dependencia de la experiencia individual del personal puede mejorar la consistencia y la eficiencia de la operación. Esto puede lograrse mediante:

Desarrollo de algoritmos de optimización más sofisticados que automatizan la planificación de rutas y minimizan la necesidad de intervención manual.

Ejecución de sistemas de asistencia al conductor con ayuda de la inteligencia artificial que proporcionen recomendaciones en tiempo real para la planificación y ajuste de rutas.

## 3. Evaluación de la Escalabilidad y Adaptación Regional:

Para asegurar que la solución sea escalable y adaptable a diferentes contextos, es necesario:

Realizar estudios piloto adicionales en diferentes regiones y con otros distribuidores para evaluar la adaptabilidad del modelo a diversas condiciones operativas.

Desarrollar un marco de trabajo flexible que permita ajustes específicos según las características y necesidades de cada región y distribuidor.

## 4. Optimización de Costos de Implementación:

Para facilitar la adopción de estas tecnologías por organizaciones más pequeñas, es crucial:

Buscar soluciones de software de código abierto o más económicas que puedan proporcionar funcionalidades similares a las herramientas especializadas utilizadas en la intervención inicial.

Establecer colaboraciones con proveedores de tecnología y plataformas de capacitación para reducir costos y facilitar el acceso a estas soluciones.

## 5. Fortalecimiento de la Capacitación Continua:

La capacitación continua del personal es esencial para el éxito sostenido de la intervención. Futuras iniciativas deben:

Implementar programas de capacitación más integrales que incluyan no solo el uso de nuevas tecnologías, sino también estrategias avanzadas de gestión de rutas y atención al cliente.

Establecer mecanismos de evaluación y retroalimentación continua para asegurar que el personal se mantenga actualizado con las mejores prácticas y tecnologías emergentes.

#### 6. Incorporación de Tecnologías Sostenibles:

Explorar la incorporación de vehículos eléctricos y otras tecnologías verdes en la flota de distribución para disminuir la emisión de contaminantes y mejorar la sostenibilidad operativa.

Desarrollar métricas y reportes que evalúen el impacto ambiental de las operaciones y busquen continuamente formas de minimizarlo.

## CONCLUSIONES

El trabajo presentado tuvo como objetivo principal optimizar las rutas de distribución para disminuir el gasto de la operación e incrementar la eficiencia en una empresa de la industria farmacéutica. Este objetivo se logró satisfactoriamente mediante la implementación de un algoritmo de búsqueda más cercana (Nearest Neighbor) en el enrutamiento que resultó en una reducción del 30% de los kilómetros recorridos totales.

Los principales hallazgos incluyen una disminución significativa en los costos operativos, un incremento en la eficiencia de las entregas y el aumento en la satisfacción del consumidor. En términos cuantitativos, la distancia recorrida se redujo de 21,867 unidades a 15,310 unidades, lo que se traduce en ahorros considerables en el consumo de combustible y mantenimiento de vehículos.

La intervención genera cambios significativos en la organización, destacando la mejora en la puntualidad y fiabilidad de las entregas, lo cual incrementó la satisfacción del cliente y contribuyó a la lealtad a largo plazo. Además, la reducción de kilómetros recorridos y el gasto de gasolina contribuyeron a una menor huella de carbono, alineándose con los objetivos de sostenibilidad de la empresa.

Las implicaciones prácticas de estos resultados son notables, ya que la optimización de rutas no solo mejoró la eficiencia operativa, sino que también proporcionó una base sólida para futuras optimizaciones y mejoras de la cadena de suministro. Teóricamente, este estudio aporta al campo de la distribución al demostrar la efectividad del VRP (Vehicle Routing Problem) en contextos menos estudiados como la distribución a changarros y pequeñas tiendas de conveniencia.

Las limitaciones del estudio incluyeron la falta de integración de monitoreo constante sobre el tráfico y condiciones meteorológicas, lo que restringió la capacidad de ajustar las rutas de manera óptima en situaciones cambiantes. Además, la planificación de rutas dependió una mayor parte del conocimiento de los operadores, lo que podría introducir variabilidad en la eficiencia operativa.

Finalmente, reflexionando sobre el proceso de intervención, se destaca la relevancia en la colaboración y capacitación continua de los colaboradores para el éxito de la implementación. Las lecciones aprendidas incluyen la necesidad de integrar tecnologías emergentes y sistemas de monitoreo exactos para aumentar aún más la adaptabilidad y efectividad de las rutas de distribución en el futuro.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adhitama, L., & Kurniawati, D. A. (2023). Development of Ant Colony Optimization Algorithm for Green Capacitated Vehicle Routing Problem. *Journal of Advanced Manufacturing Systems*, 307-322.
- Alesiani, F., Ermis, G., & Gkiotsalitis, K. (2022). Constrained Clustering for the Capacitated Vehicle Routing Problem (CC-CVRP). *Applied Artificial Intelligence*, 36(1).
- Álvarez Hernández, R. J. (2017). Propuesta de solución al problema de ruteo de vehículos en el operador logístico Opperar S.A. para el transporte y distribución de productos alimenticios secos del Grupo Nutresa S.A. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*, 23.
- Álvarez, I., & Charmel, K. (2001). The rapid rise of supermarkets in Costa Rica: Impact on horticultural markets. *Development Policy Review*, 473-485.
- Ballou, R. H. (2004). *Logística: Administración de la cadena de suministro (5ta ed.)*. México: Pearson Education.
- Baptista, S., Oliveira, R. C., & Zúquete, E. (2002). A period vehicle routing case study. *European Journal of Operational Research*, 220-229.
- Bard, J. F., Huang, L., Dror, M., & Jaillet, P. (1997). A branch and cut algorithm for the VRP with satellite facilities. *IIE Transactions*, 821-834.
- Cordeau, J. F., Desaulniers, G., Desrosiers, J., Solomon, M. M., & Soumis, F. (2002). VRP with time windows. En J. F. Cordeau, G. Desaulniers, J. Desrosiers, M. M. Solomon, & F. Soumis, *The vehicle routing problem* (págs. 157-193). Philadelphia, PA: Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM).
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, 80-91.
- Dávila Vélez, J. G. (2013). Juego Pedagógico para la Enseñanza de Heurísticos de Ruteo de Vehículos. *Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco*, 199-206.
- Díez de Castro, E. C. (1997). *Distribución Comercial*. España: McGraw-Hill.
- Ding, Q., Hu, X., Sun, L., & Wang, Y. (2012). An Improved Ant Colony Optimization and its Application to Vehicle Routing Problem with Time Windows. *Neurocomputing*, 101-107.

- Dror, M., Laporte, G., & Trudeau, P. (1994). Vehicle routing with split deliveries. *Discrete Applied Mathematics*, 239-254.
- EBSCO. (2023). EBSCO. Obtenido de <https://www.ebsco.com/es/blogs/ebscopost/2601700/lectura-sin-restricciones-como-eliminar-las-barreras-de-acceso-mediante>
- Eglese, R. W., Letchford, A. N., & Lysgaard, J. (2004). A new branch-and-cut algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *Mathematical Programming*, 423-445.
- Farahani, R. Z., Rezapour, S., & Kardar, L. (2011). *Logistics Operations and Management: Concepts and Models*. Oxford, Reino Unido: Elsevier.
- Fernández, J. M. (2016). *Introducción a la gestión de flotas de vehículos*. Advanced Fleet Management Consulting.
- Flood, M. (1956). The Traveling-Salesman Problem. *Operations Research*, 61-75.
- García, I. D. (2010). El problema de ruteo de vehículos. *Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Facultad de Ciencias*, 1-33.
- Gil, E. Y., González, D., Mendoza, D. E., Betancourt, F. J., Fernández, M. A., Polanco, R., & Sarmiento, J. J. (2020). Algorithms applied to the problem of Routing of Vehicles with Capacity Restriction (CVRP): bibliometric analysis of the solutions. *Revista Espacios*, 139-152.
- Grasas, A., & Ramalhinho, H. (2016). Teaching distribution planning: a problem-based learning approach. *The International Journal of Logistics Management*, 377-394.
- Hjorring, C. (1995). The vehicle routing problem and local search metaheuristics (Capítulo 2). PhD thesis, Department of Engineering Science. *The University of Auckland*.
- Ho, S. C., Szeto, W. Y., & Wu, Y. Z. (2011). An artificial bee colony algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 126-135.
- INEGI. (2023). INEGI. Obtenido de <https://inegi.org.mx/app/mapa/denue/>
- INEGI. (2023). INEGI. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/app/saladeprensa/noticia.html?id=8383>
- Jacobs-Blecha, C., & Goetschalckx, M. (1992). *The vehicle routing problem with backhauls: properties and solution algorithms*. Atlanta, Georgia: School of Industrial and Systems Engineering, Georgia Institute of Technology.
- Jia, H., Li, Y., Dong, B., & Ya, H. (2013). An Improved Tabu Search Approach to Vehicle Routing Problem. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 1208-1217.
-

- Khouadjia, M. R., Sarasola, B., Alba, E., Jourdan, L., & Talbi, E. (2012). A Comparative Study between Dynamic Adapted PSO and VNS for the Vehicle Routing Problem with Dynamic Requests. *Applied Soft Computing*, 1426-1439.
- Kumar, R., & Pattnaik, P. K. (2018). *Graph Theory*. Laxmi Publications Pvt Ltd.
- Laporte, G. (1992). The Vehicle Routing Problem: An Overview of Exact and Approximate Algorithms. *European Journal of Operational Research*, 345-358.
- Laporte, G., & Louveaux, F. V. (1998). Solving stochastic routing problems with the integer L-shaped method. En G. Laporte, & F. V. Louveaux, *Fleet Management and Logistics* (págs. 159-167). Boston, MA: Kluwer Academic Publishers.
- Laporte, G., & Nobert, Y. (1987). Exact Algorithms for the Vehicle Routing Problem. En G. Laporte, & Y. Nobert, *North-Holland Mathematics Studies* (págs. 147-184). North-Holland.
- Laporte, G., Louveaux, F., & van Hamme, L. (2002). An integer L-shaped algorithm for the capacitated vehicle routing problem with stochastic demands. *Operations Research*, 415-423.
- Liu, Y., Qin, Z., & Liu, J. (2023). An Improved Genetic Algorithm for the Granularity-Based Split Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pickup. *Mathematics*, 3328.
- Lozada Díaz, Á., & Cadena González, R. A. (2012). Solución del Problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo (VRPTW) mediante métodos heurísticos. *Universidad Industrial de Santander*, 33.
- Maps, G. (25 de Marzo de 2024). *Google Maps*. Obtenido de Google Maps: [https://www.google.com.mx/maps/@20.5813896,-103.4404313,15z?entry=tту&g\\_ep=EgoyMDI0MDgyOC4wIjKXMDSoASAFQAw%3D%3D](https://www.google.com.mx/maps/@20.5813896,-103.4404313,15z?entry=tту&g_ep=EgoyMDI0MDgyOC4wIjKXMDSoASAFQAw%3D%3D)
- Michallet, J., Prins, C., Amodeo, L., Yalaoui, F., & Vitry, G. (2014). Multi-start Iterated Local Search for the Periodic Vehicle Routing Problem with Time Windows and Time Spread Constraints on Services. *Computers & Operations Research*, 196-207.
- Pereira, F. B., & Tavares, J. (2009). *Bio-inspired Algorithms for the Vehicle Routing Problem*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Pisinger, D., & Ropke, S. (2007). A General Heuristic for Vehicle Routing Problems. *Computers & Operations Research*, 2403-2435.
- Porter, M. E. (1985). *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. New York, NY, EE.UU.: Free Press.
- Ralphs, T., Hartman, J., & Galati, M. (2001). Capacitated vehicle routing and some related problems. *Rutgers University*.
-

- Rastani, S., & Çatay, B. (2023). A large neighborhood search-based metaheuristic for the load-dependent electric vehicle routing problem with time windows. *Annals of Operations Research*, 761-793.
- Righini, G. (2000). *Approximation algorithms for the vehicle routing problem with pick-up and delivery*. Milán, Italia: Polo Didattico e di Ricerca di Crema, Università degli Studi di Milano.
- Rother, M., & Shook, J. (1999). *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate MUDA*. Brookline, MA, EE.UU.: Lean Enterprise Institute.
- Sadati, M. E., Akbari, V., & Çatay, B. (2022). Electric vehicle routing problem with flexible deliveries. *International Journal of Production Research*, 4268-4294.
- Sadati, M. E., Akbari, V., & Çatay, B. (2022). Electric vehicle routing problem with flexible deliveries. *International Journal of Production Research*, 4268-4294.
- Sadkowski, W., & Jedynak, P. (2022). *Quality management and accounting in service industries: A new model of quality cost calculation*. New York, NY, EE.UU.: Routledge Taylor & Francis Group.
- Solomon, M. M. (1987). Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints. *Operations Research*, 254-265.
- Tarazona Galán, H. O., & Neira Parra, J. (2022). Enruta tu ruta: Actividad lúdica para la enseñanza del Problema de Enrutamiento de Vehículos Considerando Restricciones de Capacidad - CVRP. *I+D Revista de Investigaciones*, 108-123.
- Toth, P., & Vigo, D. (2002). *The Vehicle Routing Problem (Volumen 9 de SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications)*. Philadelphia, PA: SIAM (Society for Industrial and Applied Mathematics).
- West, A. (1991). *Gestión de la distribución comercial*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.
- Zhang, M., Pratap, S., Zhao, Z., Prajapati, D., & Huang, G. Q. (2021). Forward and reverse logistics vehicle routing problems with time horizons in B2C e-commerce logistics. *International Journal of Production Research*, 6291-6310.
- Zhu, L., & Hu, D. (2019). Study on the vehicle routing problem considering congestion and emission factors. *International Journal of Production Research*, 6115-6129.

## GLOSARIO

**CVRP (Capacitated Vehicle Routing Problem):** Variante del VRP que incluye restricciones de capacidad de los vehículos. [p.7]

**DEAM (Departamento de Economía, Administración y Mercadología):** Departamento académico del ITESO. [p.3]

**IDI (Investigación, Desarrollo e Innovación):** Conjunto de asignaturas relacionadas con aspectos metodológicos del trabajo. [p.6]

**ITESO (Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente):** Universidad donde se realiza el TOG. [p.3]

**TIR (Tasa Interna de Retorno):** Indicador financiero que mide la rentabilidad de una inversión. [p.4]

**TOG (Trabajo de Obtención de Grado):** Documento académico requerido para obtener el grado de Especialista en Gestión de la Cadena de Suministro. [p.3]

**VPN (Valor Presente Neto):** Métrica financiera que representa el valor actual de los flujos de caja futuros generados por una inversión. [p.3]

**VRP (Vehicle Routing Problem):** Problema de optimización logística para determinar las rutas más eficientes para la distribución de productos. [p.6]

**VSM (Value Stream Mapping):** Herramienta visual utilizada para analizar y diseñar el flujo de materiales e información. [p.5]