



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Implementación de un sistema de ruteo vehicular (VRP) para la asignación de
vehículos de una flota heterogénea

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero Industrial

Autor: Angel Adrian Flores Morán

Leonardo Arturo Sánchez Quirola

Tutor: Ing. Ángel Roberto Guevara Orozco, Msc

Guayaquil - Ecuador

2025

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

Nosotros, Angel Adrian Flores Morán con documento de identificación N° 0956285043 y Leonardo Arturo Sánchez Quirola con documento de identificación N° 0941296188; manifestamos que:

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


Guayaquil, 06 de agosto del año 2025

Atentamente,



Angel Adrian Flores Morán

0956285043



Leonardo Arturo Sánchez Quirola

0941296188


**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Angel Adrian Flores Morán con documento de identificación N° 0956285043 y Leonardo Arturo Sánchez Quirola con documento de identificación N° 0941296188, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Implementación de un sistema de ruteo vehicular (VRP) para la asignación de vehículos de una flota heterogénea”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniería Industrial, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Guayaquil, 06 de agosto del año 2025

Atentamente,



Angel Adrian Flores Morán
0956285043



Leonardo Arturo Sánchez Quirola
0941296188

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Ángel Roberto Guevara Orozco con documento de identificación N° 0923017107, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “Implementación de un sistema de ruteo vehicular (VRP) para la asignación de vehículos de una flota heterogénea”, realizado por Angel Adrian Flores Morán con documento de identificación N° 0956285043 y por Leonardo Arturo Sánchez Quirola con documento de identificación N° 0941296188, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 5 de Agosto del año 2025

Atentamente,



Ing. Ángel Roberto Guevara Orozco. Msc.
0923017107

DEDICATORIA

Este logro se lo dedico principalmente a mis padres toda mi familia ya que fueron los pilares fundamentales de mi vida.

Por ser ellos que con esfuerzo, sacrificio y días súper difíciles fueron quienes me dieron la oportunidad de alcanzar mi sueño.

También es muy importante mi familia ya que todos aportaron con consejos, esfuerzo y sacrificio.

Angel Adrian Flores Moran

DEDICATORIA

El trabajo presentado se lo dedico principalmente a Dios por ser mi guía y brindarme la sabiduría para concluir con el camino que me dio

A mi mamá y papá por el apoyo que me brindan, a mis hermanos por ser mi fuente de apoyo para superar las adversidades que se me presentan en la vida.

Leonardo Arturo Sanchez Quirola

AGRADECIMIENTO

Quiero dar todo mi agradecimiento a mis padres ya que ellos fueron quienes me apoyaron me guiaron y motivaron siendo un ejemplo de vida.

Aquellos docentes que compartieron tu conocimiento con gran paciencia y dedicación.

A todos los compañeros y amigos que me brindaron su compañía y apoyo en las situaciones más difíciles.

Y a todas las personas que tuvieron fe y creyeron en mí, les agradezco por ser parte de esta meta lograda.

Angel Adrian Flores Moran

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme las fuerzas necesarias para estar en el camino de poder ser un profesional y la salud para concluir este logro

A mis padres por creer y confiar en cada paso de mis metas planteadas, los valores inculcados de ellos por parte de mis abuelas, y así convirtiéndome en la persona que soy.

A los compañeros de clase que se convirtieron en mis amigos desde el momento que ingrese, son aquellos con los que se compartieron grandes momentos, así como gratas experiencias personales y profesionales

Leonardo Arturo Sanchez Quirola

RESUMEN

Este proyecto técnico se enfoca en el diseño e implementación de una solución integral para los desafíos relacionados con la asignación de rutas y la gestión de una flota vehicular heterogénea en la empresa. El problema principal identificado radica en la ineficiencia de la asignación de vehículos a las rutas, combinada con la subutilización de los recursos disponibles, lo que genera costos operativos elevados, retrasos en las entregas y una disminución en la satisfacción del cliente. El objetivo central de este estudio es aplicar un modelo de optimización del ruteo vehicular, utilizando técnicas de programación y algoritmos heurísticos, para resolver estos problemas de manera eficaz y mejorar la operatividad de la empresa.

El propósito fundamental de esta investigación es llevar a cabo un análisis exhaustivo de los problemas actuales en la gestión del ruteo, identificar sus causas fundamentales y presentar una propuesta que proporcione soluciones prácticas y efectivas. Para ello, se emplearán herramientas analíticas como el análisis de datos históricos y la simulación de rutas, a fin de comprender los factores clave que afectan la eficiencia del proceso logístico. Esta propuesta busca no solo resolver las deficiencias operativas actuales, sino también optimizar el uso de la flota, mejorar los tiempos de entrega y reducir los costos asociados con el transporte.

El diseño e implementación de esta solución no solo abordará los problemas inmediatos, sino que también establecerá un sistema flexible que permitirá ajustes y mejoras continuas, contribuyendo a una optimización sostenible a largo plazo. Este estudio propone una estrategia que no solo enfrenta los retos actuales, sino que prevé soluciones duraderas que se adapten a las necesidades futuras de la empresa, impactando positivamente en la calidad del servicio, la eficiencia operativa y la satisfacción del cliente.

Palabras claves: CVRPTW (Problema de Rutas de Vehículos Capacitados con Ventanas de Tiempo) VRP (Problema de Rutas Vehicular), Flota heterogénea, Ventana de tiempo, Capacidad del vehículo, Algoritmo heurístico, Optimización. Restricción, Costo de transporte, Demanda del cliente.

ABSTRACT

This technical project focuses on designing and implementing a comprehensive solution for the challenges related to route assignment and fleet management of a heterogeneous vehicle fleet. The main problem identified lies in the inefficiency of vehicle allocation to routes, combined with the underutilization of available resources, resulting in high operational costs, delivery delays, and a decrease in customer satisfaction. The central goal of this study is to apply a vehicle routing optimization model using programming techniques and heuristic algorithms to effectively address these issues and improve the company's operations.

The fundamental purpose of this research is to conduct a thorough analysis of the current problems in routing management, identify their root causes, and present a proposal that provides practical and effective solutions. To achieve this, analytical tools such as historical data analysis and route simulation will be employed to understand the key factors affecting the efficiency of the logistics process. This proposal aims not only to resolve current operational shortcomings but also to optimize fleet usage, improve delivery times, and reduce transportation costs.

The design and implementation of this solution will not only address immediate issues but also establish a flexible system that allows for continuous adjustments and improvements, contributing to sustainable long-term optimization. This study proposes a strategy that not only tackles current challenges but also anticipates durable solutions that will adapt to the company's future needs, positively impacting service quality, operational efficiency, and customer satisfaction.

Key words: CVRPTW (Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows), VRP (Vehicle Routing Problem), Heterogeneous fleet, Time Window, Vehicle capacity, Heuristic algorithm, Optimization. Restriction, Transportation cost, Customer demand.

Índice de contenido

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	I
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	II
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	III
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	IV
DEDICATORIA	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO	VII
AGRADECIMIENTO	VIII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
Índice de contenido.....	XI
Índice de tablas	XIV
Índice de Ilustración	XV
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I - EL PROBLEMA	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Descripción del problema.....	3
1.3. Justificación	4
1.4. Grupo objetivo beneficiario.....	5
1.5. Delimitación	5
1.5.1. Delimitación Académica	5
1.5.2 Delimitación Espacial.....	6
1.6 Objetivos.....	6
1.6.1. Objetivo General.....	6
1.6.2. Objetivos Específicos	6

CAPÍTULO II – MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Logística de Distribución	7
2.1.1 ¿Qué es la logística de distribución?	7
2.1.2. Objetivos y tareas de distribución	7
2.1.2. Etapas de la logística de distribución	8
2.2 Indicadores de desempeño logístico.....	9
2.2.1. Tasa de llenado	9
2.2.2. Importancia de la tasa de llenado	9
2.3 Costos logísticos.....	10
2.3.1. Principales tipos de costos logísticos	10
2.4 Sistema de transporte.....	12
2.4.1. ¿Cuál es la importancia de la gestión de transporte?.....	13
2.5 Técnica metaheurística	14
2.6 ¿Cómo abordar el problema de ruteo de vehículos (VRP)?.....	14
2.7 Enrutamiento estático vs. Dinámico.....	15
2.7.1. El enrutamiento estático	16
2.7.2. El enrutamiento dinámico.....	17
2.7.3. Enrutamiento Estático vs. Dinámico: Principales Distinciones	18
2.8 El PDCA (Plan-Do-Check-Act), también conocido como Círculo de Deming	19
2.9 Diagrama de Ishikawa (Causa-Efecto o Espina de Pescado)	20
2.10 Las 5W + 1H	20
2.11 Algoritmos genéticos.....	20
2.12 Solver.....	22
2.12.1 Para qué sirve Solver	22
2.13 Componentes principales de Solver	23
2.13.1 Celda objetivo (Set Objective):	23
2.13.2 Celdas variables (By Changing Variable Cells):.....	23

2.13.3 Restricciones (Subject to the Constraints):.....	24
2.14 Activar Excel Solver.....	24
2.14.1 Cómo activar Solver en Excel	24
CAPÍTULO III – METODOLOGIA	28
3.1 Enfoque metodológico.....	28
3.2 Etapas metodológicas	28
3.2.1 Diagnóstico del estado actual de la flota vehicular	29
3.2.3 Implementación y simulación del sistema en un entorno real.....	34
Promedio de tiempo activo por vehículo	35
Capacidad total y promedio	35
3.2.4 Evaluación del sistema mediante indicadores de desempeño (KPIs).....	51
3.2.5 Aplicación del ciclo de mejora continua (PDCA)	51
3.3 Herramientas metodológicas complementarias	52
CAPÍTULO IV – RESULTADOS	53
4.1 Diagnóstico operativo de la flota.....	53
4.2 Análisis de ruta planificada y cálculo de tiempos	54
4.3 Cálculo de consumo y costo operativo estimado	54
4.4 Validación operativa del modelo de ruteo	55
4.5 Indicadores claves (KPI) posteriores a la simulación.....	55
4.6 Etapa 1 Planificar.....	61
4.7 Los 5 W + 1H	61
5. Diagrama de Ishikawa	64
Hacer.....	67
Verificar.....	68
Actuar	68
Conclusiones.....	72
Referencias	73

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Extracto de base de datos del monitoreo de vehículos</i>	30
Tabla 2 <i>Gasto de Combustible</i>	31
Tabla 3 <i>Kilómetros y Frecuencia de Paradas de Cada Vehículo</i>	31
Tabla 4 <i>Coordenadas y Demanda de los Puntos de Parada</i>	32
Tabla 5 <i>Variables</i>	33
Tabla 6 <i>Tiempo Activo de Vehículos</i>	34
Tabla 7 <i>Capacidad Total y Promedio</i>	35
Tabla 8 <i>Vehículos con el Número de Paradas Restantes</i>	36
Tabla 9 <i>Distancia y Duración de un Punto de Parada a Otro</i>	37
Tabla 10 <i>Matriz de Distancias</i>	38
Tabla 11 <i>Kilómetros de un Punto a Otro y Acumulado de Distancias</i>	38
Tabla 12 <i>Distancia y Tiempo de Diferencia Entre las Paradas</i>	39
Tabla 13 <i>Comparación del Combustible y Costo</i>	40
Tabla 14 <i>Aplicación de Solver</i>	40
Tabla 15 <i>Tramos por puntos</i>	41
Tabla 16 <i>Comparación de la mejora</i>	50
Tabla 17 <i>Indicadores de Mejora</i>	69

Índice de Ilustración

Ilustración 1 <i>Panel Derecho</i>	24
Ilustración 2 <i>Diálogo de Complementos</i>	25
Ilustración 3 <i>Verificación de Solver</i>	26
Ilustración 4 <i>Comando Solver</i>	26
Ilustración 5 <i>Parámetros de Solver</i>	27
Ilustración 6 <i>Mapa Recorrido</i>	29
Ilustración 7 <i>Aplicación de Solver</i>	41
Ilustración 8 <i>Las restricciones binarias y de paso único</i>	42
Ilustración 9 <i>Flujo continuo</i>	43
Ilustración 10 <i>Salida obligatoria</i>	44
Ilustración 11 <i>Salida de prohibición</i>	44
Ilustración 12 <i>Secuencia lógica</i>	45
Ilustración 13 <i>Ruta prohibida</i>	46
Ilustración 14 <i>Total tramos usados</i>	47
Ilustración 15 <i>Condición (flujo)</i>	48
Ilustración 16 <i>Mapa Recorrido Optimizado</i>	50
Ilustración 17 <i>Distancia Total (KM)</i>	56
Ilustración 19 <i>Consumo de Combustible</i>	57
Ilustración 18 <i>Costo por Ruta</i>	57
Ilustración 20 <i>Tiempo por Ruta</i>	58
Ilustración 21 <i>Utilización de la Flota</i>	59
Ilustración 22 <i>Tiempo de Entrega</i>	60
Ilustración 23 <i>5W+1H</i>	63
Ilustración 24 <i>Diagrama de Ishikawa</i>	65
Ilustración 25 <i>Plan de Acción de Mejora de Proyecto</i>	66
Ilustración 26 <i>Aplicación de Solver</i>	67

INTRODUCCIÓN

La eficiencia logística se ha convertido en un elemento esencial para aquellas empresas que dependen de los transportes de bienes o servicios puedan mantener su competitividad. Uno de los retos principales dentro de este campo es encontrar una planificación efectiva a las rutas de distribución, siempre y cuando se cuente con una flota diversa que este compuesta por vehículos con diferentes capacidades, costos y limitaciones. En este punto el Problema de Ruteo de Vehículos (VRP) viene a convertirse en una herramienta indispensable, ya que esta nos ayuda a planificar rutas que puedan reducir los gastos operativos y a su vez mejora la atención al cliente.

Con el pasar del tiempo, este problema ha pasado por numerosos estudios, dando así lugar a múltiples variantes que se acoplan a distintos entornos. Su versión más relevante es el VRP con flota heterogénea (HFVRP), esta puede alinearse con la realidad operativa de muchas compañías, en la cual no todos los vehículos no son iguales y cada uno se presenta con particulares condiciones que deberán ser tomadas en cuenta durante la planificación, lo que significa que encontrar soluciones óptimas es muy demandante en términos de recursos y tiempo.

Este proyecto tiene como propósito principal desarrollar un sistema que permita asignar rutas óptimas a los vehículos de una flota heterogénea, considerando variables clave como la capacidad de carga de cada unidad, los tiempos de entrega, los costos operativos y las particularidades técnicas de cada vehículo. Para ello, se hará uso de técnicas de optimización y herramientas computacionales que permitan encontrar soluciones eficaces y adaptables a diferentes contextos logísticos.

Este trabajo no se limita a ofrecer una solución teórica al problema de ruteo de vehículos, sino que busca proporcionar una herramienta práctica para la empresa de transporte en la que se va a implementar la solución. Su objetivo es ayudar a mejorar las operaciones de distribución, reducir los costos de transporte y optimizar el rendimiento logístico en general, permitiendo a la empresa implementar una solución eficiente y realista para sus desafíos diarios en la gestión de rutas.

CAPÍTULO I - EL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

El Problema de Ruteo Vehicular (Vehicle Routing Problem, VRP) es un problema clásico en investigación operativa y logística que busca determinar la mejor manera de asignar y secuenciar rutas para una flota de vehículos que debe atender un conjunto de clientes con demandas específicas, minimizando costos como la distancia total recorrida, tiempo o consumo de combustible.

El interés en la implementación de sistemas de ruteo vehicular ha crecido significativamente debido a la necesidad de optimizar operaciones logísticas en sectores como transporte de mercancías, distribución urbana, y servicios a domicilio, donde la eficiencia impacta directamente en costos operativos y en la calidad del servicio.

Un caso particular del VRP es el VRP con flota heterogénea (Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem, HFVRP), donde la flota está compuesta por vehículos de diferentes capacidades, costos y características. Este problema es más complejo que el VRP clásico debido a la necesidad de asignar vehículos específicos a rutas particulares, considerando restricciones adicionales y objetivos múltiples

La heterogeneidad en la flota responde a escenarios reales donde las empresas disponen de vehículos variados, como camiones de diferentes tamaños, tipos y capacidades, para atender demandas diversas. La correcta asignación y ruteo de estos vehículos permite una gestión más flexible, eficiente y sostenible de la flota. (Baekers, 2016)

1.2. Descripción del problema

La eficiencia logística es un factor determinante para la competitividad de las empresas. Una de las tareas más críticas es la distribución y transporte de mercancías, que implica asignar rutas a vehículos de una flota que puede variar en capacidades, costos operativos, restricciones de carga y disponibilidad. Este problema es conocido como Vehicle Routing Problem (VRP). A pesar de los avances tecnológicos y la disponibilidad de herramientas de optimización, muchas empresas aún enfrentan dificultades al implementar soluciones eficientes y adaptables a sus necesidades reales. Esto se debe a factores como la falta de integración con sistemas existentes, datos incompletos o en tiempo real, restricciones legales y comerciales en el contexto internacional.

A pesar de los grandes avances en la tecnología de la gestión logística, varias empresas aún hacen uso de métodos manuales o muy poco automatizados para hacer la planificación de las rutas de su flota, esto nos genera un uso ineficiente de recursos con una dependencia excesiva del juicio humano. Esta situación se empeora cuando la flota es heterogénea ya que las decisiones de esta deben ser de variables múltiples que son la capacidad, consumo, accesibilidad y restricciones legales o de infraestructura. La falta de un sistema que integre estas variables de una manera automatizada y óptima nos genera un cuello de botella en la operación, de esta manera afectando no solo los tiempos de entrega, sino que también afecta la sostenibilidad económica y ambiental de nuestra operación logística.

Las condiciones del entorno urbano como en la ciudad de Guayaquil, donde el tránsito, la infraestructura vial mas los horarios de restricción vehicular son factores críticos son los que hacen que el uso de las herramientas inteligentes de planificación sea necesario. El no contar con un modelo de ruteo que sea flexible, adaptable que este basado en datos reales nos puede llevar a fallas recurrentes en la operación, como rutas con tiempos demasiados excesivos, vehículos mal asignados que nos dejan un incumplimiento de entregas. Con este proyecto buscamos dar una respuesta a estas deficiencias con el desarrollo de un sistema que considere todas las condiciones reales del contexto local, promoviendo así una logística mas eficiente económica y sostenible.

1.3. Justificación

La logística moderna enfrenta demasiadas exigencias crecientes en la eficiencia, sostenibilidad y adaptabilidad. Basados en este contexto, el ruteo de vehículos es uno de los factores claves dentro de la cadena de suministros, especialmente cuando se trata de flotas heterogéneas. Varias empresas, particularmente en los entornos urbanos como guayaquil, que operan con vehículos de distintas capacidades, condiciones y costos de operación, debido a todos estos factores se complica realizar una planificación uniforme. Aunque contemos con la disponibilidad de distintas herramientas tecnológicas, las soluciones genéricas so siempre pueden adaptarse a las condiciones reales del entorno local, lo que nos deriva en rutas muy poco optimizadas, costos operativos elevados, entregas con tiempos prolongados y gran insatisfacción del cliente.

Este proyecto resulta relevante porque propone una implementación de un modelo de ruteo que no solo considera restricciones físicas y temporales propias en el proceso logístico, además la realidad operativa de una empresa local. El incluir ventanas de tiempo, capacidades vehiculares y variabilidad en la demanda, este modelo proporciona una solución que puede adaptarse a distintos escenarios y a su vez se ajusta con facilidad. Al aplicar uso de una herramienta de optimización como lo es solver en Excel esto nos permite obtener soluciones más eficientes en tiempos computacionales razonables, lo cual nos resultará más útil frente a la complejidad de ciertos problemas logísticos en donde los métodos exactos pueden resultar ineficaces.

Desde una perspectiva más práctica, la justificación de este estudio radica con un impacto directo en la competitividad empresarial. Con un sistema de ruteo optimizado nos permite reducir kilómetros recorridos, disminuir el consumo de combustibles y cumplir con los tiempos de entrega, factores que influyen directamente en costos logísticos y la percepción del cliente. Por otro lado, el diseñar una solución replicable y estable que permite que la empresa fortalezca sus procesos logísticos mediante un enfoque metodológico que se adapte a sus propias características operativas. Este proyecto no solo busca mejorar una situación operativa puntual, sino también generar conocimiento que puede ser aplicado en las diferentes áreas de la empresa, alineado con los principios de sostenibilidad, mejora continua y transformación digital que demanda la logística moderna.

1.4. Grupo objetivo beneficiario

Se prevé implementar y evaluar un sistema de ruteo y asignación de vehículos para una flota heterogénea en una empresa de transporte o distribución en la ciudad de Guayaquil, con el propósito de identificar las condiciones operativas que permiten alcanzar una mayor eficiencia logística. Esto permitirá cumplir de forma óptima con los requerimientos establecidos por los clientes en términos de tiempos de entrega y uso de recursos. La aplicación de modelos de optimización para conseguir resultados y resolver el VRP (Vehicle Routing Problem), adaptados a la realidad ecuatoriana, representa un avance significativo para las empresas del sector logístico, abriéndoles la posibilidad de mejorar sus procesos, reducir costos y alinearse con estándares internacionales de eficiencia operativa y sostenibilidad.

1.5. Delimitación

1.5.1. Delimitación Académica

El siguiente proyecto técnico propone su realización a partir de un planteamiento teórico que engloba varios temas previamente adquiridos durante el periodo de aprendizaje en la carrera de Ingeniería Industrial. Así mismo, se utilizan diferentes métodos, herramientas y técnicas para proponer un plan que será evaluado y que satisfaga alguna duda que se presente en la Universidad Politécnica Salesiana.

1.5.2 Delimitación Espacial

Nos enfocaremos en el cantón Guayaquil Kilometro 16.5 vía a Daule

Ilustración 1: Ubicación geográfica de oficinas de la empresa



Fuente: Google maps (Autores, 2025)

1.6 Objetivos

1.6.1. Objetivo General

Implementación de un sistema de ruteo vehicular (VRP) para la asignación de vehículos de una flota heterogénea.

1.6.2. Objetivos Específicos

- Analizar el desempeño actual de la flota propia en un periodo de tres meses, para identificar oportunidades de mejora operativa.
- Diseñar e implementar un sistema de gestión de flota basado en análisis de datos que permita asignar vehículos eficientemente y registrar el desempeño logístico en tiempo real.
- Evaluar el sistema implementado durante un mes posterior a su puesta en marcha, mediante la comparación de indicadores operativos con los datos obtenidos previamente.

CAPÍTULO II – MARCO TEÓRICO

2.1 Logística de Distribución

2.1.1 ¿Qué es la logística de distribución?

La logística de distribución es aquel proceso que se encarga de conectar a la producción con los consumidores incluyendo el conjunto de actividades relacionadas con la gestión de mercancías necesarias para que así la mercancía llegue desde la línea de producción hasta los clientes finales. En esta especialidad se engloba la gestión de la manipulación, el transporte y el almacenamiento de los productos. Esta se ha convertido en un elemento crucial para la cadena de suministros y esta a su vez está fuertemente relacionado con la selección del empaquetado adecuado el cual se encarga de asegurar la integridad del producto en todo trayecto de su traslado. Para que la distribución sea eficiente es vital poder contar con sistemas de información y control eficaces para que este bien estructurado. (Logisticaascoel, 2025)

2.1.2. Objetivos y tareas de distribución

Los objetivos principales de la distribución logística son el garantizar la fiabilidad y la flexibilidad de la entrega con una óptima rentabilidad para así lograr asegurar la satisfacción máxima del cliente.

Se encarga de abordar cuatro distintas áreas de problema:

- El punto de la producción este situado en un lugar físicamente separado del punto de demanda. En este caso lo primordial es determinar los medios y rutas de transportes más eficientes.
- Tanto la producción como la demanda no suelen coincidir en el mismo tiempo, por lo cual el almacenamiento flexible es totalmente necesario.
- Los lotes de producción como las cantidades de demandas no siempre suelen coincidir. Es esta situación la mejor solución es el entregar cantidades parciales a distintos clientes
- Aquellos complementos que son surtidos son los que suelen producirse de de una forma descentralizada en distintos lugares. Distinto de los productos que son individuales resultantes ya que estos deben ser entregados desde los distintos lugares y centros de producción establecidos a uno o varios clientes. (Lis, 2021)

2.1.2. Etapas de la logística de distribución

- **Producción:** Nos habla de la primera fase de la logística ya que esta fase es la que se encarga de la distribución, ya que es donde las fábricas o empresas productoras crean los productos y los ponen a disposición del mercado. Esta etapa es importante ya que en ella está el aprovisionamiento de la materia prima, así mismo como la optimización de los procesos.

- **Transporte:** Esta fase es clave ya que es la que se encarga de llevar los productos desde las fábricas o distribuidores mayoristas a las empresas. Esta es la fase en la cual tener una buena relación entre cliente y proveedor es clave para así poder garantizar entregas periódicas en tiempo y de forma adecuada para poder garantizar el stock de la empresa.

- **Almacenamiento:** Al momento de que lleguen los productos a la empresa, esta comenzará a almacenarlos de una manera rápida y eficiente. Por lo cual es de suma importancia dejar en claro que se garantice la conservación y los mantenimientos de productos ya que así podemos evitar deterioros y roturas.
 - El tener una buena gestión del almacén nos permite facilitar y acelerar el proceso en la preparación de pedidos permitiéndonos así tener una distribución más rápida y eficiente. Al llegar a esta fase de almacenamiento debemos tener en cuenta puntos de gran importancia que vendrían a ser como la iluminación del almacén, el sistema y el software de la logística que se utiliza, otro punto que también es de suma importancia es donde se encuentra ubicada la mercancía el mercado de artículos junto a sus respectivas condiciones de humedad y temperatura.

- **Distribución:** En la última fase de la logística que tiene lugar desde el momento en que los pedidos o productos salen de la empresa en dirección al último cliente. Esta es clave para poder acelerar el proceso de entrega del producto consiguiendo que los nuevos negocios online se logren entregar en el menor tiempo posible. Puntos clave para que se garantice una exitosa distribución de productos:

- Se debe seleccionar de formar adecuada las rutas de reparto y los medios de transporte sean los ideales para cada caso.
- Realizar la implementación de sistemas de comprobación para poder garantizar que los productos enviados sean los que corresponden al pedido de cada cliente.
- Se controla los distintos costes logísticos para poder optimizarlos.
- Al mismo tiempo se debe contar con un buen sistema de logística inversa que nos facilite las devoluciones y a su vez la empresa pueda llevar una logística ecológica que ayude al medio ambiente y poder reducir sus costes. (Ruiz, 2022)

2.2 Indicadores de desempeño logístico

2.2.1. Tasa de llenado

La tasa de cumplimiento es un indicador clave de rendimiento (KPI) utilizado en logística para evaluar la eficiencia de las entregas de pedidos. Mide la tasa de pedidos entregados correctamente dentro del plazo acordado en comparación con la cantidad total de pedidos realizados por los clientes.

2.2.2. Importancia de la tasa de llenado

La prioridad de cualquier negocio es brindar un buen servicio al cliente. La tasa de cumplimiento permite medir el rendimiento de un proceso clave de la cadena de suministro: la entrega de pedidos. Este KPI es vital para empresas de todos los sectores, ya que permite controlar si los clientes han recibido las compras realizadas dentro del plazo estipulado. (MECALUX, 2025)

Los retrasos en las entregas pueden deberse a diversas razones, todas las cuales reducen la tasa de abastecimiento. Las más comunes incluyen problemas de planificación y programación de la producción, entregas tardías de suministros, un control deficiente del inventario y la falta de coordinación entre los distintos actores de la cadena de suministro. Para implementar medidas correctivas, es necesario identificar las causas específicas de la baja tasa de abastecimiento.

Si su tasa de cumplimiento es alta, significa que su empresa cumple con las expectativas de los clientes de manera eficaz y constante, lo que se traduce en fidelización y compras

recurrentes. Las empresas que se esfuerzan por entregar los pedidos en el menor tiempo posible mejoran su calidad de servicio.

Una buena gestión de la cadena de suministro contribuye a tasas de abastecimiento óptimas. Con operaciones de almacén eficientes y una comunicación fluida entre los diferentes departamentos y proveedores, su productividad aumentará. Además, la entrega correcta de los pedidos a los clientes reduce los costes de devolución, minimiza los reenvíos y evita la pérdida de oportunidades de venta. (MECALUX, 2025)

2.3 Costos logísticos

Los costos logísticos son todos los gastos incurridos en el transporte del producto, desde la obtención de materias primas hasta la entrega de los pedidos de los clientes y todos los pasos intermedios. Toda la logística puede representar un gasto significativo, por lo que es importante analizar los diferentes tipos de costos logísticos de forma rutinaria.

De igual forma, la gestión de los costos logísticos puede, potencialmente, ahorrar miles de dólares a tu negocio, pero se requiere de mucha investigación e ingenio para ello. Por suerte, es posible hacer ajustes rápidos aprendiendo las técnicas de gestión de los costos establecidas en tu industria. (UCSP, 2021)

2.3.1. Principales tipos de costos logísticos

Almacenamiento e inventario

Es necesario contar con un lugar para almacenar su inventario, ya sea que se cree sus propios productos de manera interna o ya dependa de un fabricante externo. En cuanto más grande sea su inventario más grande será el espacio que se necesitara. Desafortunadamente, ha ocurrido un incremento en los costos de almacenamiento y disponibilidad limitada la cual nos causa un problema al momento de encontrar un espacio de alquiler. En Estados Unidos las renovaciones de alquiler han aumentado en un promedio del 25% este año debido a que el creciente número de negocios de comercio electrónico nos crea una escasez de espacio disponible en almacenes. Para poder evitar esto, se podría comprar su propio espacio de almacén directamente, pero lo cual se asegura que esto no sea nada barato.

Alquilar o comprar un almacén no es el único costo que encaja en esta categoría; también deberá tener en cuenta otros costos como:

- Seguro
- Servicios públicos
- Seguridad (OptimoRoute, 2025)

Transporte y distribución

Ya sea que se use o no proveedores de servicios logísticos de terceros (3PL) como una empresa de logística inversa o a sea una que dependa de algún equipo interno, el transporte y la distribución serán los costos logísticos más grandes para todas las empresas. Estos costos incluyen una variedad de tareas, incluyendo:

- Transportar materias primas a su base de fabricación
- Mover productos desde la fabricación a su almacén
- Entregar paquetes a los clientes

La logística de entrada, como el transporte de productos desde el fabricante a su almacén, son tareas de transporte rentables que implican mover grandes envíos a una sola ubicación. Sin embargo, logística de salida, como la entrega de última milla, son mucho más costosas. (OptimoRoute, 2025)

Entrega de última milla

“Entrega de última milla” esta nos da a entender que al entregar productos de forma directa a sus clientes. Es prácticamente la etapa final de la distribución. Estas entregas son aquellas que se consumen la mayor parte de recursos y del tiempo porque los conductores se ven obligados a realizar muchas paradas para realizar entregas de pequeñas cantidades de producto a sus clientes. Los conductores pueden tender a enfrentarse a puestas de seguridad o recepciones las cuales tienen un proceso único el cual hace ralentizar las entregas. Esto hace que la entrega de última milla sea el mayor gasto en su cadena de suministro, representando la mitad del costo total de envío. (OptimoRoute, 2025)

Mano de obra

El personal a cargo de gestionar y transportar los productos es un costo logístico que puede variar a gran escala. Pero el valor exacto de lo que se gastará depende de donde se encuentre el personal y cuál es la tasa promedio de pago en esa área. Por ejemplo, si

se opera en Austin, entonces lo que se puede esperar a pagar a los conductores en base al promedio local sería de \$15/hora. Pero si la entrega se realizaría en la ciudad de Nueva York, entonces el valor a pagar a los conductores sería un poco más elevado para competir con el pago promedio en el área, que sería de \$20/hora. También se pagará diferentes salarios a los otros miembros del equipo dependiendo del nivel de experiencia y del título de trabajo. Las posiciones específicas para que se pueda contratar puede variar dependiendo de la industria o negocio, pero probablemente necesitar:

- Personal para el almacén que se encargará de recibir nuevo inventario y preparar los paquetes para la entrega
- Conductores de entrega para transportar materiales y productos
- Gerentes para poder supervisar a los empleados, así también como los procesos logísticos y las operaciones del almacén
- Administradores que se encarguen de la gestión de los recursos humanos, incluyendo la contratación de empleados y el procesamiento de nóminas (OptimoRoute, 2025)

2.4 Sistema de transporte

El sistema de gestión de transporte es una plataforma logística que se enfoca en utilizar tecnología para así poder aportar a las empresas con ayuda al momento de planificar, ejecutar y optimizar el movimiento o transporte de las mercancías, tanto al momento de entrada como de salida, asegurándose de que el envío cumpla con las normas y la documentación sea la correcta y esté disponible. En este tipo de sistema se suele formar parte de un sistema de gestión de suministros más grande.

Un sistema de gestión de transporte es aquel que nos proporciona visibilidad de las operaciones diarias de transporte con información y documentación de normativa comercial, garantiza la entrega oportuna de la carga y mercancías. Los sistemas de gestión de transporte también son aquellas que se encargan de agilizar el proceso de envío facilitando así que las empresas administren y optimicen sus operaciones de transporte. (transporte?, 2025)

2.4.1. ¿Cuál es la importancia de la gestión de transporte?

Optimización de las entregas

Una gestión de transporte eficiente nos garantiza que las entregas se realicen en el plazo estimado, con la máxima precisión posible.

Esto nos da a entender que entregar sin atrasos productos perecibles como son las carnes, legumbres y lácteos, lo que vendría a ser fundamental para mantener la confianza de los clientes junto a la buena reputación de la empresa.

Adicionalmente el optimizar rutas de transporte y reducir tiempos de viaje aumenta la agilidad de la operación mejorando el desempeño de la empresa

Reducción de costos

Uno de los principales objetivos dentro de la gestión de transporte es conseguir reducir los costos operacionales. Este beneficio se logra mediante una adecuada planificación de rutas aprovechando la capacidad de las flotas y la minimización de desperdicios.

Escogiendo las rutas más cortas y menos congestionadas ya que esto nos puede economizar combustible y reducir los costos de mantenimiento de los vehículos. Además, tener una buena gestión nos puede beneficiar evitando multas y fallas en el cumplimiento de la legislación de tránsito.

Productividad

El contar con una buena gestión de transporte nos aporta aumentando la productividad de toda la cadena logística, ya que los recursos son mejor aprovechados, reduciendo la inactividad de los vehículos y los procesos operacionales resultan más eficientes.

Al usar herramientas de monitoreo y control se logra identificar y corregir problemas rápidamente, antes de que se conviertan en grandes obstáculos. Cabe recalcar que la productividad es esencial para garantizar que las operaciones de la empresa sigan un ritmo acelerado sin interrupciones innecesarias. (Emergentcold, 2025)

2.5 Técnica metaheurística

Método metaheurístico

El método metaheurístico es aquellos que tienen técnicas que se implementan en estrategias de búsqueda global, esta nos permite encontrar las óptimas soluciones en problemas con alta complejidad. Estas técnicas se utilizan en procesos iterativos y estocásticos para explorar todas las soluciones. (Eurystic, 2025)

Uso en ingeniería y logística

En la ingeniería se aplican para poder optimizar el diseño de estructuras, la asignación de recurso y la planificación de proyectos. Por ejemplo la industria manufacturera y la cadena de suministros, estos métodos son aquellos que nos ayudan y permiten determinar la configuración mas optima de las plantas, programar una producción de manera eficiente y a su vez gestionar inventarios en función de la demanda. En la logística esta se utiliza para conseguir la optimización de las rutas, minimizando distancias y tiempos de entrega que nos resulta fundamental para poder reducir costos operativos para mejorar el servicio al cliente. (Eurystic, 2025)

2.6 ¿Cómo abordar el problema de ruteo de vehículos (VRP)?

El Problema de Ruteo de Vehículos (VRP) representa un desafío fundamental en el ámbito de la logística, ya que su objetivo es determinar la ruta óptima para que los vehículos logren alcanzar los destinos deseados.

El ruteo de vehículos es un problema algorítmico el cual busca conseguir rutas optimas de entrega que tienen como propósito reducir al mínimo los costos asociados a esta fase, la cual constituye una de las más onerosas dentro de la cadena de suministro.

Por lo cual el VRP es el que se encarga de encontrar soluciones a situaciones complejas que se dan al momento de planificar rutas para una flota de vehículos que opera desde uno o varios centros de distribución (vehículos, 2025).

- **VRP con recolección y entrega (VRPPD):** Este modelo aborda situaciones en las que una empresa necesita tanto recolectar como entregar productos en cantidades específicas para cada cliente en la ruta planificada.

- **VRP con flota heterogénea:** Se refiere a escenarios en los que los vehículos disponibles tienen diferentes capacidades de carga, lo cual es habitual en operaciones logísticas reales.
- **Open VRP:** En este tipo de problema, los vehículos no retornan al punto de partida después de realizar sus entregas, sino que finalizan su recorrido en un lugar distinto, lo cual es común cuando se trabaja con flotas alquiladas.
- **VRP con ventanas de tiempo (VRPTW):** Establece que cada cliente debe ser atendido dentro de un intervalo de tiempo específico, lo que requiere una planificación precisa para cumplir con dichas restricciones horarias.
- **VRP con múltiples depósitos (MDVRP):** Considera que la empresa dispone de varios centros de distribución o depósitos desde los cuales se pueden despachar productos a los clientes.
- **VRP estocástico (SVRP):** Este enfoque incorpora incertidumbre, ya que algunas variables del problema, como la cantidad de clientes, la demanda, los tiempos de servicio o de viaje, son aleatorias o presentan un comportamiento probabilístico.
- **VRP periódico (PVRP):** Se trata de una variante en la que las entregas a los clientes solo pueden realizarse en días específicos, lo que introduce una planificación más compleja y estratégica.
- **VRP multiobjetivo:** En este caso, se busca encontrar soluciones de ruteo que optimicen simultáneamente múltiples objetivos que pueden ser conflictivos entre sí, como minimizar costos y tiempos de entrega al mismo tiempo. (Unisolutionsnews, 2016)

2.7 Enrutamiento estático vs. Dinámico

El enrutamiento estático y el dinámico son dos estrategias para establecer la trayectoria que seguirá un paquete de datos hasta su destino.

En el enrutamiento estático, las rutas se definen antes de que comience cualquier comunicación en la red. Por otro lado, el enrutamiento dinámico implica que los enrutadores compartan información entre sí para conocer las posibles rutas dentro de la red. Ambos tipos de enrutamiento se aplican según la situación, e incluso algunas redes combinan ambos enfoques.

2.7.1. El enrutamiento estático

La gran ventaja del enrutamiento estático es su simplicidad. Una ruta estática identifica un destino y el enlace adecuado para llegar a él. El enrutamiento estático suele aprovechar las rutas predeterminadas: cuando el destino no está codificado explícitamente, envía el paquete al enrutador predeterminado y deja que este determine cómo llevarlo a su destino.

El enrutamiento estático es sencillo, pero no muy resiliente. La mayoría de las instalaciones no utilizan enrutamiento estático. En su lugar, se utiliza un protocolo de enrutamiento dinámico como OSPF. El enrutamiento dinámico requiere un poco más de esfuerzo de planificación y configuración, pero una vez finalizada la etapa de planificación, la red se autogestiona eficazmente. Además, permite un uso más eficiente de la topología de red: en lugar de transferir todo a un enrutador predeterminado, OSPF puede aprovechar un diseño de red más inteligente.

Para pruebas e instalaciones más pequeñas, el enrutamiento estático podría ser suficiente. También existen situaciones en las que una organización podría usar una combinación de rutas estáticas y dinámicas. (IBM, 2023)

Principales características del ruteo estático:

1. Control Total

En el enrutamiento estático se proporciona un control total sobre las rutas de red. Al cual el administrador de red es el que decide como se van a enrutar los paquetes, lo cual puede ser beneficioso en situaciones donde se necesite una gestión más precisa de ruta.

2. Simplicidad

Este es relativamente sencillo ya que el configurar rutas estáticas solo implica ingresar comandos en los routers. Lo cual lo hace más adecuado para redes más pequeñas o con requisitos de enrutamiento más simples.

3. Menos Overhead

El enrutamiento estático nos genera un tráfico menos pesado en la red a comparación con el enrutamiento dinámico, ya que no genera cambios constantes de información entre los routers.

4. Uso en Escenarios Específicos

El enrutamiento estático es más útil en situaciones donde la topología es de red más estable y sus cambios en rutas son infrecuentes. Esto también es adecuado para el enrutamiento predeterminado hacia una puerta de enlace a internet. (ClassVirtual, 2025)

2.7.2. El enrutamiento dinámico

El enrutamiento es un proceso donde se toma de decisiones en el cual el encargado se encarga de elegir la mejor manera de transportar datos de un punto inicial a un punto final. Un enrutador puede ser un dispositivo físico utilizado para enviar y aceptar datos en forma de un paquete a través de una red, se encuentra en las capas de los modelos OSI y TCP/IP.

El enrutador se encarga de la toma de decisiones creando la ruta eficiente en la red para la llegada al destino mediante enrutamiento dinámico y estático, y también equilibrando la ponderación.

El enrutamiento dinámico, también es conocido como el enrutamiento adaptativo, es una técnica en la que un enrutador procede a reenviar datos a un destino específico a través de diferentes rutas según el estado actual de los circuitos de comunicación del sistema. El concepto del enrutamiento dinámico se utiliza mayormente en las redes de datos para describir la capacidad en la que una red pueda sortear daños, así como la conexión entre nodos o la pérdida de un nodo, siempre que haya diferentes opciones del enrutamiento. Esto nos garantiza que el ruteo dinámico tenga el mayor número posible de rutas que permanezcan validas en caso de un cambio. (Zenarmor, 2025)

Principales características del ruteo dinámico:

1. Adaptabilidad

El enrutamiento dinámico es altamente adaptable a cambios en la topología de red. Los routers pueden detectar automáticamente nuevas rutas o cambios en las rutas existentes y ajustarse en consecuencia.

2. Escalabilidad

Es adecuado para redes de gran tamaño o con requisitos de enrutamiento complejos. A medida que la red crece, el enrutamiento dinámico puede manejar el aumento en la complejidad sin requerir una configuración manual extensa.

3. Redundancia

Los protocolos de enrutamiento dinámico pueden proporcionar rutas alternativas en caso de que una ruta principal falle, lo que mejora la resiliencia de la red.

4. Mayor Overhead

El enrutamiento dinámico genera un mayor tráfico de red debido al intercambio constante de información de enrutamiento entre los routers. (ClassVirtual, 2025)

2.7.3. Enrutamiento Estático vs. Dinámico: Principales Distinciones

A continuación, se presenta una visión general de las diferencias más importantes entre el enrutamiento estático y el enrutamiento dinámico:

1. Determinación de la ruta: El enrutamiento estático emplea una única ruta preestablecida para dirigir el tráfico hacia su destino. En contraste, el enrutamiento dinámico ofrece múltiples caminos posibles para alcanzar el mismo destino.

2. Actualización de rutas: En el enrutamiento estático, los administradores de red deben modificar manualmente las rutas para realizar ajustes. Por otro lado, el enrutamiento dinámico utiliza algoritmos que permiten una actualización automática ante cambios en la ruta óptima.

3. Tablas de enrutamiento: El enrutamiento estático se caracteriza por tablas de enrutamiento más pequeñas, con una única entrada por cada destino. En cambio, el enrutamiento dinámico requiere que los enrutadores intercambien sus tablas de enrutamiento completas para identificar la disponibilidad de rutas.

4. Uso de protocolos y algoritmos: El enrutamiento estático no se basa en protocolos ni algoritmos de enrutamiento complejos. El enrutamiento dinámico, por su parte, utiliza protocolos de vector de distancia, como RIP e IGRP, y protocolos de estado de enlace, como OSPF e IS-IS, para adaptar las rutas.

5. Requerimientos de procesamiento y ancho de banda: El enrutamiento estático demanda menor capacidad de procesamiento y ancho de banda, ya que solo gestiona una ruta predefinida. El enrutamiento dinámico, al generar múltiples rutas potenciales, requiere mayor capacidad de procesamiento y ancho de banda.

6. Seguridad: El enrutamiento estático ofrece mayor seguridad al no compartir información de rutas a través de la red. El enrutamiento dinámico introduce más riesgos de seguridad debido al intercambio de tablas de enrutamiento completas en toda la red.

7. Aplicaciones: El enrutamiento estático es más adecuado para redes pequeñas con pocos enrutadores y resulta ideal para arquitecturas de red que permanecen constantes. El enrutamiento dinámico es preferible para redes más grandes y complejas con múltiples enrutadores, y su flexibilidad lo hace idóneo para arquitecturas de red que experimentan cambios frecuentes. (Jacobs, 2021)

2.8 El PDCA (Plan-Do-Check-Act), también conocido como Círculo de Deming

Para llevar a cabo de forma correcta un PDCA es importante seguir paso a paso las 4 etapas o fases con los siguientes puntos de acción:

Planificación (Plan)

- Identificación de problemas existentes y convertirlos en objetivos específicos y medibles.
- Definición detallada y planificación por escrito de los procesos necesarios para alcanzar metas.
- Establecimiento de criterios de medición (como indicadores de rendimiento o KPI's) y recolección de datos.

Ejecución (Do)

- Implementación rigurosa de las actividades planificadas.
- Recopilación de datos detallados sobre el rendimiento del proceso.
- Seguir de forma estricta y rigurosa los planes establecidos durante la fase de planificación.

Evaluación (Check)

- Comparación de los resultados obtenidos con los objetivos y criterios previamente definidos.
- Análisis profundo de los datos recopilados para evaluar el desempeño del proceso.
- Identificación de desviaciones y áreas potenciales de mejora.

Acción (Act)

- Toma de decisiones basada en la evaluación crítica de los resultados.
- Implementación de cambios y ajustes necesarios para la mejora continua.
- Reinicio del ciclo con la fase de planificación, cerrando así el bucle de mejora continua. (Santos, 2024)

2.9 Diagrama de Ishikawa (Causa-Efecto o Espina de Pescado)

El diagrama de Ishikawa es una herramienta visual utilizada para identificar las causas raíz de un problema específico. Se organiza en categorías (como eléctrico, mecánico, hidráulico, etc.) que representan posibles áreas de fallo. Cada categoría se analiza para enumerar las causas potenciales que contribuyen al problema. Esta herramienta es especialmente útil en la gestión de riesgos, ya que permite anticipar dificultades y tomar medidas preventivas. Su enfoque estructurado y visual facilita la colaboración entre equipos para resolver problemas complejos. Es ideal para analizar fallos en máquinas y mejorar la calidad de los procesos industriales. (Quality, 2025)

2.10 Las 5W + 1H

Las 5W (Quién, Qué, Cuándo, Dónde, Por qué) y una H (Cómo) es un método sencillo y efectivo para analizar problemas. Al responder estas preguntas, se recopila información clave que ayuda a aislar y entender el problema en profundidad. Esta técnica permite identificar prioridades, asignar responsabilidades y proponer soluciones rápidamente. Es especialmente útil en entornos industriales para resolver incidencias de mantenimiento de manera eficiente. Su simplicidad lo convierte en una herramienta accesible para todos los niveles de la organización.

- Quién (Who)
- Qué (What)
- Cuándo (When)
- Dónde (Where)
- Por qué (Why):
- Y una H: Cómo (How) (SafetyCulture, 2022)

2.11 Algoritmos genéticos

Los algoritmos genéticos (AG) son una técnica de optimización computacional inspirada en los principios de la selección natural y la genética. Se utilizan para resolver problemas complejos imitando el proceso evolutivo y mejorando iterativamente una población de posibles soluciones. Estos algoritmos operan sobre un conjunto de

soluciones candidatas codificadas como cadenas de dígitos binarios u otras estructuras de datos.

En el núcleo de un algoritmo genético se encuentra el concepto de población, que representa un conjunto de posibles soluciones al problema en cuestión. Cada individuo de la población corresponde a una solución específica, y un conjunto de parámetros llamados genes define sus características. Estos genes codifican las propiedades o características de la solución y pueden representarse como cadenas binarias, números reales u otros tipos de datos.

El algoritmo genético comienza con una población inicial de individuos, generalmente generada aleatoriamente. Posteriormente, pasa por una serie de iteraciones, conocidas como generaciones o épocas, en las que los individuos experimentan operaciones como la selección, el cruce y la mutación. Estas operaciones imitan los procesos de selección natural, reproducción y variación genética observados en la evolución biológica. (Spiceworks, 2025)

2.12 Solver

Solver es una herramienta o complemento que realiza análisis de hipótesis que se encarga de ayudarnos a llegar al resultado más favorable definiendo una celda que tiene una fórmula (la celda objetivo), esta celda es aquella que está sujeta a restricciones o limitaciones en los valores. En pocas palabras vamos a cambiar con que restricciones para que pueda darnos un resultado optimo.

Solver es un complemento que trabaja con un grupo de celdas denominadas celdas de variables que se utilizan para calcular fórmulas en las celdas objetivos o de restricción. Por lo cual se puede determinar el valor mínimo o máximo de una celda haciendo modificaciones en otras.

Solver es una herramienta que nos ayuda a resolver y optimizar ecuaciones mediante el uso de métodos matemáticos.

Solver se usa principalmente para resolver problemas de optimización, es decir, problemas en los que deseas maximizar o minimizar una función (por ejemplo, utilidades, ingresos, costos, tiempo, etc.) mientras se cumplen ciertas limitaciones (como presupuestos, recursos, capacidades, etc.).

Solver forma parte de los complementos de Excel, por lo que, si no lo ves disponible, puede que tengas que activarlo desde las opciones de Excel.

2.12.1 Para qué sirve Solver

Solver es un complemento fácil y puede aplicarse en diferentes áreas, como en la gestión de una empresa hasta proyectos de uso personal. Algunas de sus aplicaciones más conocidas son:

Optimización de recursos: Piensa que debes asignar recursos escasos entre distintos proyectos. Solver puede asistir en encontrar la distribución más efectiva para lograr tus metas.

Análisis financiero: Se puedes utilizar Solver para calcular el punto de equilibrio, maximizar retornos o planificar inversiones.

Planificación logística: Solucionar problemas como la ruta de transporte más adecuada o la administración eficaz del inventario es mucho más fácil con esta herramienta.

Solver ayuda a simplificar problemas complicados y encontrar soluciones óptimas basadas en datos específicos. Con una perspectiva sistemática y una interfaz de uso fácil, se convierte en una herramienta necesaria para los que trabajan con Excel de forma más avanzada.

A medida que avancemos, se verá cómo activar y usar Solver para sacarle el máximo rendimiento. (Imagina, 2025)

Solver sirve para resolver problemas como:

- Maximizar utilidades de una empresa.
- Minimizar costos de producción o transporte.
- Asignar eficientemente recursos limitados (personal, materiales, tiempo).
- Calcular la combinación ideal de productos a fabricar, considerando restricciones como materia prima y tiempo.
- Planificar rutas óptimas de transporte.
- Resolver ecuaciones o sistemas de ecuaciones no lineales.
- Realizar análisis financieros complejos, como la optimización de portafolios de inversión.

2.13 Componentes principales de Solver

Cuando abres Solver, verás tres elementos fundamentales:

2.13.1 Celda objetivo (Set Objective):

Es la celda que contiene la función que deseas maximizar, minimizar o igualar a un valor específico. Por ejemplo, la celda que contiene la ganancia total.

2.13.2 Celdas variables (By Changing Variable Cells):

Son las celdas que Solver puede cambiar para llegar al resultado óptimo en la celda objetivo. Por ejemplo, la cantidad de productos que se deben fabricar.

2.13.3 Restricciones (Subject to the Constraints):

Son las condiciones que deben cumplirse. Ejemplo: no fabricar más de 100 unidades, no exceder cierto presupuesto, mantener la producción en valores enteros, etc.

2.14 Activar Excel Solver

Solver es un complemento de Excel que nos ayuda a trabajar con modelos de negocio y nos permite resolver problemas lineales y no lineales. En esta ocasión mostraré cómo activar este complemento en Excel 2010. (EXCELTOTAL, 2011)

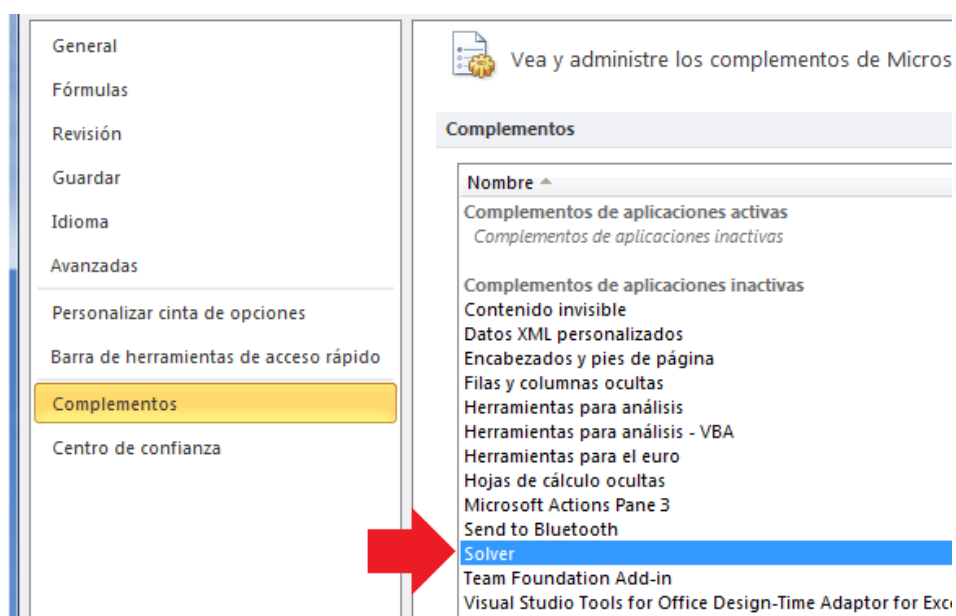
2.14.1 Cómo activar Solver en Excel

Solver está incluido dentro de Excel, pero se encuentra desactivado de manera predeterminada. Para poder habilitarlo debes ir a la ficha Archivo y elegir Opciones y se mostrará el cuadro de diálogo *Opciones de Excel* donde deberás seleccionar **Complementos**. (EXCELTOTAL, 2011)

En el panel derecho encontrarás el complemento llamado Solver. Para activarlo debes hacer clic en el botón *Ir* de la sección Administrar.

Ilustración 1

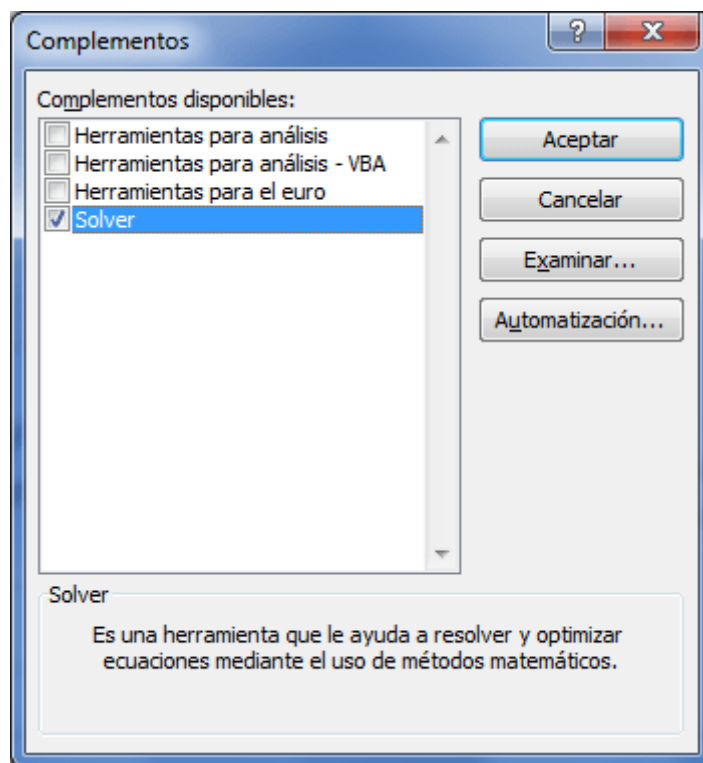
Panel Derecho



Fuente: (EXCELTOTAL, 2011)

Se mostrará el cuadro de diálogo Complementos y deberás marcar la casilla de verificación de **Solver** y aceptar los cambios.

Ilustración 2 *Diálogo de Complementos*

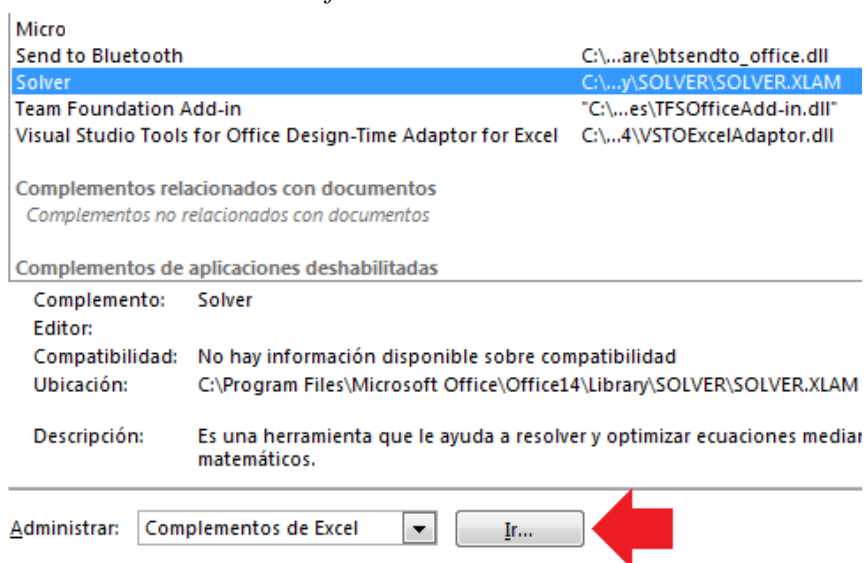


Fuentes: (EXCELTOTAL, 2011)

Se mostrará el cuadro de diálogo Complementos y deberás marcar la casilla de verificación de Solver y aceptar los cambios.

Ilustración 3

Verificación de Solver

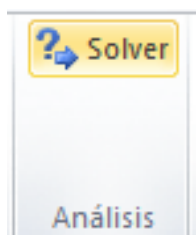


Fuentes: (EXCELTOTAL, 2011)

Para utilizar el complemento Solver debes ir a la ficha Datos y Excel habrá creado un nuevo grupo llamado Análisis el cual contendrá el comando **Solver**.

Ilustración 4

Comando Solver



Fuentes: (EXCELTOTAL, 2011)

Al hacer clic sobre ese comando se mostrará el cuadro de diálogo **Parámetros de Solver** el cual nos permitirá configurar y trabajar con el complemento recién instalado.

Ilustración 5
Parámetros de Solver

The image shows the 'Parámetros de Solver' (Solver Parameters) dialog box in Microsoft Excel. The dialog is titled 'Establecer objetivo:' (Set Objective:). Below this, there is a text box for the objective cell. The 'Para:' (To) section has three radio buttons: 'Máx.' (Max), 'Mín' (Min), and 'Valor de:' (Value of:), with 'Máx.' selected. The 'Valor de:' field contains the number '0'. The 'Cambiando las celdas de variables:' (Changing Variable Cells:) section has an empty text box. The 'Sujeto a las restricciones:' (Subject to the Constraints:) section features a large empty list box. To the right of this list are five buttons: 'Agregar' (Add), 'Cambiar' (Change), 'Eliminar' (Delete), 'Restablecer todo' (Reset All), and 'Cargar/Guardar' (Load/Save). Below the list box is a checked checkbox labeled 'Convertir variables sin restricciones en no negativas' (Make Variable Non-Negative). The 'Método de resolución:' (Select a GRG Nonlinear engine for Solver Problems that are smooth nonlinear) dropdown menu is set to 'GRG Nonlinear'. To its right is an 'Opciones' (Options) button. At the bottom of the dialog, there is a text box with the following text: 'Método de resolución. Seleccione el motor GRG Nonlinear para problemas de Solver no lineales suavizados. Seleccione el motor LP Simplex para problemas de Solver lineales, y seleccione el motor Evolutionary para problemas de Solver no suavizados.' (Resolution Method. Select the GRG Nonlinear engine for Solver Problems that are smooth nonlinear. Select the LP Simplex engine for Solver Problems that are linear Solver Problems, and select the Evolutionary engine for Solver problems that are non-smooth.) At the very bottom of the dialog are three buttons: 'Ayuda' (Help), 'Resolver' (Solve), and 'Cerrar' (Close).

En el próximo artículo mostraré un ejemplo práctico sobre cómo utilizar este complemento de Excel en nuestro análisis de datos. (EXCELTOTAL, 2011)

CAPÍTULO III – METODOLOGIA

3.1 Enfoque metodológico

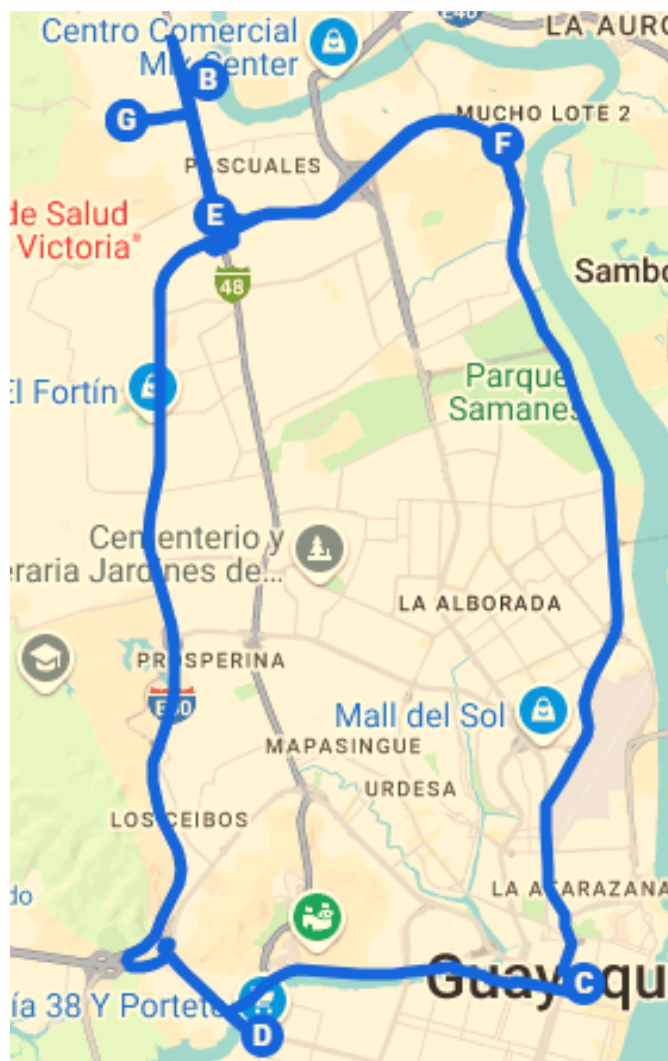
La investigación presente adopta un enfoque metodológico de tipo cuantitativo, aplicado, exploratorio y deductivo, esto nos permite abordar el problema logístico de manera integral. El enfoque cuantitativo nos da la posibilidad de recopilar, analizar y modelar datos concretos relacionados con la operación de una flota vehicular heterogénea. A su vez, este carácter aplicado de nuestra investigación radica en que se enfoca en encontrar una solución técnica que pueda implementarse en un entorno real.

Esta nos permite identificar patrones operativos y deficiencias dentro del sistema de asignaciones de rutas actual, mientras el enfoque deductivo se manifiesta en la formulación del modelo general a partir de observaciones específicas, y que su validación posterior logre ser efectiva mediante simulaciones y pruebas reales. Esta combinación metodológica nos favorece a desarrollar una propuesta sólida, tiene que estar fundamentada tanto en criterios teóricos como en la evidencia práctica.

El estudio realizado se apoya en métodos de optimización combinatoria, simulación computacional, y herramientas de mejora continua, que están bajo un enfoque cíclico de retroalimentación (PDCA). Se encuentra con el privilegio de contar con el uso de algoritmos heurísticos y metaheurísticos como mecanismos para lograr encontrar soluciones eficientes.

3.2 Etapas metodológicas

El desarrollo de la investigación se estructura en cinco etapas principales, cada una con sus respectivas actividades.

Ilustración 6 Mapa Recorrido

Fuente: Google maps (Autores, 2025)

3.2.1 Diagnóstico del estado actual de la flota vehicular

En la tabla 1 se muestra la etapa se busca identificar las principales debilidades en la gestión logística de la empresa analizada. Para ello, se ejecutarán las siguientes actividades:

Recolección de información sobre la flota a partir de una base de datos internas de la empresa, incluyendo número de unidades, capacidad de carga, tipo de vehículo, consumo de combustible y costos operativos.

Registro de las rutas actuales utilizadas durante un periodo de tres meses, tomando en cuenta tiempos activos del ruteo, paradas restantes, kilometraje recorrido y frecuencia de paradas.

Análisis de las entregas incumplidas, retrasos o reasignaciones operativas debido a problemas de planificación.

Tabla 1 *Extracto de base de datos del monitoreo de vehículos*

Monitoreo de vehículos					EN M3
Vehículo	Conductor	Estado	Tiempo activo	Paradas restantes	CAPACIDAD
F01	Caicedo	En ruta	110 min	2	25
F02	Gomez	Entregado	136 min	0	25
F03	Smith	En ruta	90 min	3	25
F04	Farinango	Regresando	139 min	0	35
F05	Alvarado	Entregado	141 min	0	35
F06	Almeida	En ruta	87 min	3	25
F07	Coello	Regresando	119 min	0	25
F08	Holguin	Entregado	139 min	0	25
F09	Diaz	En ruta	105 min	2	25
F10	Padilla	Regresando	135 min	0	25
F11	Vasquez	Entregado	145 min	0	25
F12	Barzola	En ruta	122 min	1	25
F13	Mermelo	Regresando	134 min	0	35

Fuente: (Autores, 2025)

En la tabla 1 se puede observar el monitoreo de vehículos extraídos de una base de datos internas de la empresa que contiene la siguiente información:

- **Vehículo:** es el código que representa al vehículo.
- **Conductor:** el apellido del chofer de cada vehículo.
- **Estado:** es el estado en que se encuentra cada vehículo con tres tipos de etapas:
 - En ruta: el vehículo se encuentra en ruta para la entrega en los diferentes puntos de parada.

- Regresando: el vehículo se encuentra en camino al centro de distribución.
- Entregado: el vehículo se encuentra ha finalizado el recorrido.
- **Tiempo activo:** el tiempo que lleva desde que inició la operación.
- **Paradas restantes:** Son las paradas que le falta por realizar al vehículo
- **Capacidad:** la capacidad que contiene el vehículo en metros cúbicos.

Tabla 2 *Gasto de Combustible*

Vehículos	Gasolina (L)
F01	7,2
F02	7,8
F03	6,20
F04	8,50
F05	9
F06	5,4
F07	6,1
F08	7,3
F09	6,3
F10	8
F11	8,5
F12	7,1
F13	7

Fuentes: (Autores, 2025)

En la tabla 2 se muestra el combustible que se gastaba antes

Tabla 3 *Kilómetros y Frecuencia de Paradas de Cada Vehículo*

Vehículo	kilometraje recorrido	Frecuencia de paradas
F01	72 km	30 min
F02	78 km	49 min
F03	62 km	39 min
F04	85 km	47 min
F05	90 km	48 min
F06	54 km	33 min
F07	61 km	36 min
F08	73 km	41 min
F09	63 km	38 min
F10	80 km	36 min
F11	85 km	40 min
F12	71 km	50 min

F13	70 km	42 min
------------	-------	--------

Fuente: (Autores, 2025)

En la tabla 3 se puede observar el código del vehículo con el kilómetro recorrido en lo que va desde que inicio la ruta y la frecuencia promedio de paradas que se demora en cada punto.

Tabla 4 *Coordenadas y Demanda de los Puntos de Parada*

PUNTOS DE PARADAS	COORDENADAS		DEMANDA (GRANEL)
CDD GUAYAQUIL	-2,067021	-79,952843	
PUNTO 1	-2,059818	-79,9940779	15
PUNTO 2	-2,191952	-79,885413	23
PUNTO 3	-2,197917	-79,933033	29
PUNTO 4	-2,079277	-79,939865	27
PUNTO 5	-2,069367	-79,898214	8

Fuente: (Autores, 2025)

Este diagnóstico permitirá determinar la línea base operativa sobre la cual se compararán los resultados futuros, además de proporcionar datos para el diseño del modelo de optimización.

3.2.2 Diseño del sistema de ruteo vehicular (HFVRP – CVRPTW)

Con base en el diagnóstico, se procede al diseño del sistema de ruteo considerando una flota heterogénea. Esta etapa contempla:

Modelación matemática del problema de ruteo, representando las restricciones operativas como ventanas de tiempo, capacidad de vehículos, demanda de los clientes, y costos por distancia recorrida.

Formulación de un problema combinatorio de tipo CVRPTW (Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows), adaptado a condiciones reales del entorno empresarial.

Tabla 5 Variables

Símbolo	Descripción	Valor asignado / Fuente
i, j	Nodos (clientes y CDD)	$i, j \in \{0: \text{CDD}, 1: \text{Punto 1}, \dots, 5: \text{Punto 5}\}$
k	Vehículo de la flota	$k \in \{1: \text{F01}, \dots, 13: \text{F13}\}$
C_{ij}	Costo por recorrer el arco (v_i, v_j) en kilómetros	Según matriz de distancias (Tabla 8 y 9)
d_i	Demanda del cliente i (en m^3)	$d_1=15, d_2=23, d_3=29, d_4=27, d_5=8, d_0=0$
s_{vi}	Tiempo de servicio en el cliente i	10 minutos por parada (estimado)
$[e_{vi}, l_{vi}]$	Ventana de tiempo para atención al cliente i	[08:00, 12:00] (horario asumido)
t_{ij}	Tiempo de arribo desde nodo i hasta nodo j (en minutos)	Ej: $t_{01}=1, t_{12}=12, \dots, t_{50}=10$ (Tabla 10)
q_k	Capacidad del vehículo k (en m^3)	F01–F03, F06–F12: 25 m^3 ; F04, F05, F13: 35 m^3
h_{vik}	Tiempo de inicio de servicio al cliente i por el vehículo k	A determinar por el modelo
X_{ijk}	Variable binaria: 1 si el vehículo k recorre el arco (i, j) ; 0 en caso contrario	A determinar por el modelo

Fuente: (Autores, 2025)

En la tabla 5 se muestran cada una de las variables que se necesitan para nosotros lograr un monitoreo e implementación eficiente para que se identifique de mejor manera el sistema de rutas a implementar.

Lo siguiente a realizar sería la definición de la función objetivo

Selección de un algoritmo de resolución. En este caso se optará por una técnica metaheurística, debido a que los métodos exactos resultan computacionalmente costosos para problemas de mediana y gran escala. Se evaluarán algoritmos como:

Búsqueda tabú (Tabu Search)

Algoritmos genéticos

Algoritmos de colonia de hormigas

Generación de instancias de prueba basadas en los datos reales de la empresa.

Implementación del modelo mediante Solver del programa Excel de Microsoft

3.2.3 Implementación y simulación del sistema en un entorno real

Esta fase se basa en el desarrollo, prueba y análisis del modelo simulado en un entorno:

- ❖ Instalación de un sistema enfocado en el entorno de simulación de prueba vinculado a los datos operativos base de la empresa.
- ❖ Integración con los datos reales de la empresa como coordenadas geográficas, disponibilidad de vehículos, demanda de clientes y consumo energético.
- ❖ Se realiza la generación de instancias de prueba con distintas escenas de demanda, congestión vial y fallos vehiculares, para así poder medir como actuaría el sistema frente situaciones cambiantes.
- ❖ Se ejecuta la simulación bajo diferentes parámetros de la planificación, con retorno o sin él al depósito, con rutas fijas contra las dinámicas con múltiples depósitos.
- ❖ Se realiza visualización gráfica de rutas generadas, distancias recorridas y utilización de la flota.

Este proceso no va a permitir verificar la factibilidad técnica y operativa del sistema antes de su aplicación definitiva.

Total de tiempo activo de todos los vehículos

Tabla 6 *Tiempo Activo de Vehículos*

Vehículo	Tiempo activo	Minutos
F01	1h 50m	110 min
F02	2h 16m	136 min
F03	1h 30m	90 min
F04	2h 19m	139 min
F05	2h 21m	141 min

F06	1h 27m	87 min
F07	1h 59m	119 min
F08	2h 19m	139 min
F09	1h 55m	115 min
F10	2h 15m	135 min
F11	2h 25m	145 min
F12	2h 02m	122 min
F13	2h 14m	134 min

Fuente: (Autores, 2025)

Suma total:

$110+136+90+139+141+87+119+139+115+135+145+122+134 = 1612$ minutos =
27 h y 26 min.

Promedio de tiempo activo por vehículo

Promedio= $1612\text{min} / 13$ vehículos = 124 min = 2h04min

Capacidad total y promedio

Tabla 7 *Capacidad Total y Promedio*

Capacidad total	Promedio
$25 \times 9 + 35 \times 4 = 225 + 140 = 365 \text{ m}^3$	$365 / 13 = 28.08$

Fuente: (Autores, 2025)

Vehículos aún en operación (En ruta + Regresando)

- Estados “En ruta”: F01, F03, F06, F09, F12 → 5 vehículos
- Estados “Regresando”: F04, F07, F10, F13 → 4 vehículos
- Total vehículos activos: $5+4=9$ vehículos

Promedio de paradas restantes en vehículos “En ruta”

Tabla 8 Vehículos con el Número de Paradas Restantes

Vehículo	Paradas restantes
F01	2
F03	3
F06	3
F09	2
F12	1

Fuente: (Autores, 2025)

En la tabla 8 encontramos el número de paradas de los vehículos usados, los cuales sacaremos un promedio de paradas de los vehículos para lograr mejor precisión y eficiencia al momento de generar el sistema:

$$\text{Promedio} = (2 + 3 + 3 + 2 + 1)/5 = 2.2 \text{ paradas}$$

1. Tiempo activo promedio por estado

a) Entregado:

Vehículos: F02, F05, F08, F11

$$\text{Tiempos: } 136 + 141 + 139 + 145 = 561 \text{ min}$$

$$\text{Promedio: } 561/4 = 140.25 \text{ min} = 2\text{h}20\text{m}$$

b) En ruta:

$$\text{Vehículos: } F01, F03, F06, F09, F12$$

$$\text{Tiempos: } 110 + 90 + 87 + 115 + 122 = 524 \text{ min}$$

$$\text{Promedio: } 524/5 = 104.8 \text{ min} = 1\text{h}45\text{m}$$

c) Regresando:

$$\text{Vehículos: } F04, F07, F10, F13$$

$$\text{Tiempos: } 139 + 119 + 135 + 134 = 527 \text{ min}$$

$$\text{Promedio: } 527/4 = 131.75 \text{ min} = 2\text{h}11\text{m}$$

Tabla 9 Distancia y Duración de un Punto de Parada a Otro

DESDE	HACIA	DISTANCIA (km)	DURACION (min)
CDD GUAYAQUIL	CDD GUAYAQUIL	0	0 min
CDD GUAYAQUIL	PUNTO 1	5,5	37 min
PUNTO 1	PUNTO 2	25,5	36 min
PUNTO 2	PUNTO 3	7	18 min
PUNTO 3	PUNTO 4	18,1	22 min
PUNTO 4	PUNTO 5	7,7	09 min
PUNTO 5	CDD GUAYAQUIL	8,8	14 min

Fuente: (Autores, 2025)

Se diseñó una ruta completa que parte y retorna a la empresa que se implementó el sistema, incluyendo seis destinos intermedios clave dentro de Guayaquil y Daule. Se calcularon las distancias entre puntos usando herramientas cartográficas, obteniendo un recorrido total de 72,6 km. Luego, con una velocidad promedio de 40 km/h, se estimaron los tiempos de desplazamiento en minutos:

Paso 1: Crear la matriz de distancias (en km)

Usamos la herramienta de rutas de Google Maps para obtener distancias aproximadas entre cada punto.

Tabla 10 *Matriz de Distancias*

Origen \ Destino	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	RETORNO CDD
CDD GUAYAQUIL	0.6	7.5	10.5	3.4	6.7	0
PUNTO 1	—	8.0	11.0	3.0	7.0	0.6
PUNTO 2	—	—	3.0	8.5	6.0	7.5
PUNTO 3	—	—	—	11.5	9.5	10.5
PUNTO 4	—	—	—	—	5.0	3.4
PUNTO 5	—	—	—	—	—	6.7
CDD (Final)	—	—	—	—	—	0

Fuente: (Autores, 2025)

Paso 2: Tabla Math Solver de Ruta con distancias y sumatoria

Tabla 11 *Kilómetros de un Punto a Otro y Acumulado de Distancias*

N°	Desde	Hacia	Distancia (km)	Acumulado (km)
1	CDD GUAYAQUIL	PUNTO 1	0.6	0.6
2	PUNTO 1	PUNTO 2	8.0	8.6
3	PUNTO 2	PUNTO 3	3.0	11.6
4	PUNTO 3	PUNTO 4	11.5	23.1
5	PUNTO 4	PUNTO 5	5.0	28.1
6	PUNTO 5	CDD GUAYAQUIL	6.7	34.8 km

Fuente: (Autores, 2025)

Paso 3: Validación en estilo Math Solver

Se suma paso a paso:

$$D = 0.6 + 8.0 + 3.0 + 11.5 + 5.0 + 6.7 = 34.8 \text{ km}$$

Tabla 12 *Distancia y Tiempo de Diferencia Entre las Paradas*

Tramo	Distancia (km)	Tiempo (min)
CDD GUAYAQUIL → PUNTO 1	0.6	1 min
PUNTO 1 → PUNTO 2	8.0	12 min
PUNTO 2 → PUNTO 3	3.0	4 min
PUNTO 3 → PUNTO 4	11.5	17 min
PUNTO 4 → PUNTO 5	5.0	8 min
PUNTO 5 → CDD GUAYAQUIL	6.7	10 min
Total recorrido	34.8	52 min

Fuente: (Autores, 2025)

En la Tabla 12 se muestra la distancia recorrida por cada uno de los vehículos en la ruta al igual que el tiempo actual que tienen para lograr completar el recorrido en el nuevo sistema implementado logrando una ruta optima en un mejor tiempo para lograr la entrega a cada punto.

Tabla 13 Comparación del Combustible y Costo

Tramo	Antes		Después	
	Combustible (L)	Costo (\$)	Combustible (L)	Costo (\$)
CDD GUAYAQUIL → PUNTO 1	0.08	0.05	0.06	0.04
PUNTO 1 → PUNTO 2	1.2	0.80	0.80	0.53
PUNTO 2 → PUNTO 3	0.5	0.34	0.30	0.20
PUNTO 3 → PUNTO 4	1.38	0.93	1.15	0.76
PUNTO 4 → PUNTO 5	0.70	0.47	0.50	0.33
PUNTO 5 → CDD GUAYAQUIL	0.80	0.54	0.67	0.45
Total	4.66 L	3.13 \$	3.48 L	2.31 \$

Fuente: (Autores, 2025)

En esta tabla 13 se demuestra el resultado obtenido mediante la implementación de Solver siendo la herramienta de optimización para el diseño de rutas con enfoque CVRPTW. En esta se demuestran los tramos recorridos por vehículo, el costo unitario que este asociado a cada uno, la cantidad asignada como variable de decisión y el costo total por tramo.

Tramo	Costo unitario (\$)	Cantidad (Variable)	Costo total por tramo
CDD GUAYAQUIL → PUNTO 1	0,04	0,04	0,0016
PUNTO 1 → PUNTO 2	0,53	0,53	0,2809
PUNTO 2 → PUNTO 3	0,2	0,2	0,04
PUNTO 3 → PUNTO 4	0,76	0,76	0,5776
PUNTO 4 → PUNTO 5	0,33	0,33	0,1089
PUNTO 5 → CDD GUAYAQUIL	0,45	0,45	0,2025
TOTAL			1,2115

Tabla 14 Aplicación de Solver

Fuentes: (Autores, 2025)

Ilustración 7 Aplicación de Solver

	A	B	C	D	E	F	G
1		Tramo	Cantidad (Original)	Cantidad (Nueva)	Costo total original	Costo total nuevo	Diferencia (%)
2		CDD GUAYAQUIL → PUNTO 1	0,04	1	0,0016	0,04	2400
3		PUNTO 1 → PUNTO 2	0,53	1	0,2809	0,53	88,68
4		PUNTO 2 → PUNTO 3	0,2	0	0,04	0	-100
5		PUNTO 3 → PUNTO 4	0,76	0	0,5776	0	-100
6		PUNTO 4 → PUNTO 5	0,33	0,5	0,1089	0,165	51,52
7		PUNTO 5 → CDD GUAYAQUIL	0,45	1	0,2025	0,45	122,22
8		TOTAL	2,31	3,5	1,2115	1,185	-2,19
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							

Parámetros de Solver

Establecer objetivo:

Para: Máx Mín Valor de:

Cambiando las celdas de variables:

Sujeto a las restricciones:

$SC\$2:SC\$7 \leq 25$
 $SC\$2:SC\$7 \geq 0$
 $SC\$8 \leq 100$

Convertir variables sin restricciones en no negativas

Método de resolución: Simplex LP

Fuente: (Autores, 2025)

Tabla 15 Tramos por puntos

C2	CDD GUAYAQUIL → PUNTO 1
C3	PUNTO 1 → PUNTO 2
C4	PUNTO 2 → PUNTO 3
C5	PUNTO 3 → PUNTO 4
C6	PUNTO 4 → PUNTO 5
C7	PUNTO 5 → CDD GUAYAQUIL
C8	Total

Fuentes: (Autores, 2025)

En la ilustración 7 se demuestra la aplicación de solver es la herramienta utilizada para minimizar el costo total del recorrido a través de la asignación óptima de cantidades por tramo. La celda fue establecida fue \$F\$8, correspondiente al costo total por tramo acumulado.

- **Restricción de no negatividad:**

$SC\$2:SC\$7 \geq 0$ Donde C2 va del CDD al Punto 1 y C7 va del Punto 5 al CDD
 Garantiza que las variables no asuman valores negativos, ya que no es posible recorrer una distancia negativa ni realizar entregas negativas.

- **Restricción de capacidad máxima por tramo:**

$\$C\$2:\$C\$7 \leq 25$ Donde C2 va del CDD al Punto 1 y C7 va del Punto 5 al CDD
Establece un tope de carga o asignación de 25 unidades por tramo, en función de la capacidad máxima de los vehículos utilizados.

- **Restricción de capacidad total del recorrido:**

$\$C\$8 \leq 100$ Donde C8 es el total

Limita la suma total de las cantidades asignadas a un máximo de 100 unidades, lo cual puede interpretarse como una capacidad operativa global o la cantidad máxima de carga demandada.

Ilustración 8 Las restricciones binarias y de paso único

	A	B	C	D	E	F	G
1		Tramo	Cantidad (Original)	Cantidad (Nueva)	Costo total original	Costo total nuevo	Diferencia (%)
2		CDD GUAYAQUIL → PUNTO 1	0,04	1	0,0016	0,04	2400
3		PUNTO 1 → PUNTO 2	0,53	1	0,2809	0,53	88,68
4		PUNTO 2 → PUNTO 3	0,2	0	0,04	0	-100
5		PUNTO 3 → PUNTO 4	0,76	0	0,5776	0	-100
6		PUNTO 4 → PUNTO 5	0,33	0,5	0,1089	0,165	51,52
7		PUNTO 5 → CDD GUAYAQUIL	0,45	1	0,2025	0,45	122,22
8		TOTAL	2,31	3,5	1,2115	1,185	-2,19
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							

Parámetros de Solver

Establecer objetivo:

Para: Máx Mín Valor de:

Cambiando las celdas de variables:

Sujeto a las restricciones:

$\$C\$2:\$C\$7 \leq 25$
 $\$C\$2:\$C\$7 \geq 0$
 $\$C\$3 \leq 1$
 $\$C\$4 \leq 1$
 $\$C\$5 \leq 1$
 $\$C\$6 \leq 1$
 $\$C\$7 \leq 1$
 $\$C\$8 \leq 100$

Convertir variables sin restricciones en no negativas

Método de resolución: Simplex LP

Fuentes: (Autores, 2025)

En la ilustración 8 se muestran las restricciones binarias y de paso único

En las restricciones de 4 a 8 se usó máximo de un tramo por nodo $C3 \leq 1$, $C4 \leq 1$, $C5 \leq 1$, $C6 \leq 1$, $C7 \leq 1$

Estas restricciones establecen que cada tramo entre nodos intermedios puede ser utilizado, como máximo, una vez. Su objetivo es garantizar que la ruta no contenga ciclos redundantes y que el flujo del recorrido sea unidireccional y eficiente.

Ilustración 9 Flujo continuo

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		Tramo	Cantidad (Original)	Cantidad (Nueva)	Costo total original	Costo total nuevo	Diferencia (%)	Flujo continuo	Tramos usados
2		CDD GUAYAQUIL → PUNTO 1	0,04	1	0,0016	0,04	2400	0,33	2,31
3		PUNTO 1 → PUNTO 2	0,53	1	0,2809	0,53	88,68	-0,56	
4		PUNTO 2 → PUNTO 3	0,2	0	0,04	0	-100	0,43	
5		PUNTO 3 → PUNTO 4	0,76	0	0,5776	0	-100	-0,12	
6		PUNTO 4 → PUNTO 5	0,33	0,5	0,1089	0,165	51,52		
7		PUNTO 5 → CDD GUAYAQUIL	0,45	1	0,2025	0,45	122,22		
8		TOTAL	2,31	3,5	1,2115	1,185	-2,19		
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									

Parámetros de Solver

Establecer objetivo:

Para: Máx Mín Valor de:

Cambiando las celdas de variables:

Sujeto a las restricciones:

\$C\$5 = 0
 \$C\$6 <= \$C\$4
 \$C\$6 <= 1
 \$C\$6 >= \$C\$4
 \$C\$7 <= \$C\$4
 \$C\$7 <= \$C\$6
 \$C\$7 <= 1
 \$C\$8 <= 100
 \$H\$2 = 0
 \$H\$3 = 0
 \$H\$4 = 0
 \$H\$5 = 0
 \$I\$2 = 0

Convertir variables sin restricciones en no negativas

Método de resolución:

Fuentes: (Autores, 2025)

En la ilustración 9 se muestra las restricciones de flujo continuo y lógica secuencial. En esta la operación se realizó en una celda aparte y que el solver no permite operaciones, la cual sería la columna H llamada flujo continuo.

- **Restricción 9 – Flujo P1 P2 implica P2→P3**

$C3 - C4 = 0$ Donde C3 es del Punto 1 al Punto 2 y C4 es del punto 2 al punto 3

Si se activa el tramo del Punto 1 al 2, se debe continuar de forma obligatoria al Punto 3. Esta restricción modela el flujo continuo del trayecto.

- **Restricción 10 – Flujo P2→P3 implica P3→P4**

$C4 - C5 = 0$ Donde C4 es del punto 2 al punto 3 y C5 es del punto 3 al punto 4

Si se utiliza el tramo P2→P3, es obligatorio continuar hacia P4. Se garantiza así una lógica de recorrido encadenada.

- **Restricción 11 – Flujo P3→P4 implica P4→P5**

$C5 - C6 = 0$ Donde C5 es del punto 3 al punto 4 y C6 es del punto 4 al punto 5

El uso del tramo P3→P4 activa necesariamente el tramo P4→P5, estableciendo una relación de dependencia secuencial entre nodos.

- **Restricción 12 – Flujo P4→P5 implica retorno a CDD**

$C6 - C7 = 0$ Donde C6 es del punto 4 al punto 5 y C7 es del punto 5 al CDD

Luego de visitar el último punto logístico (P5), el vehículo debe obligatoriamente regresar al centro de distribución. Esto asegura un cierre completo del recorrido.

Ilustración 10 Salida obligatoria

A	B	C	D	E	F	G	H	I
	Tramo	Cantidad (Original)	Cantidad (Nueva)	Costo total original	Costo total nuevo	Diferencia (%)	Flujo continuo	Tramos usados
2	CDD GUAYAQUIL → PUNTO 1	0,04	1	0,0016	0,04	2400	0,33	2,31
3	PUNTO 1 → PUNTO 2	0,53	1	0,2809	0,53	88,68	-0,56	
4	PUNTO 2 → PUNTO 3	0,2	0	0,04	0	-100	0,43	
5	PUNTO 3 → PUNTO 4	0,76	0	0,5776	0	-100	-0,12	
6	PUNTO 4 → PUNTO 5	0,33	0,5	0,1089	0,165	51,52		
7	PUNTO 5 → CDD GUAYAQUIL	0,45	1	0,2025	0,45	122,22		
8	TOTAL	2,31	3,5	1,2115	1,185	-2,19		

Parámetros de Solver

Establecer objetivo:

Para: Máx Min Valor de:

Cambiando las celdas de variables:

Sujeto a las restricciones:

SC32 = 1
 SC32:SC37 <= 25
 SC32:SC37 >= 0
 SC33 <= 1
 SC34 <= 1
 SC34 = 0
 SC35 <= 1
 SC35 = 0
 SC36 <= SC34
 SC36 <= 1
 SC36 >= SC34
 SC37 <= SC34
 SC37 <= SC36

Convertir variables sin restricciones en no negativas

Método de resolución: Simplex LP

Fuente: (Autores, 2025)

En la ilustración 10 se muestra la restricción 13 que es de salida obligatoria desde el CDD Hacia P1.

C2 = 1 Donde C2 es desde el CDD hasta el primer punto

Se fuerza el inicio de todas las rutas desde el centro de distribución hacia el primer punto logístico, como condición base de la operación.

Ilustración 11 Salida de prohibición

A	B	C	D	E	F	G	H	I
	Tramo	Cantidad (Original)	Cantidad (Nueva)	Costo total original	Costo total nuevo	Diferencia (%)	Flujo continuo	Tramos usados
2	CDD GUAYAQUIL → PUNTO 1	0,04	1	0,0016	0,04	2400	0,33	2,31
3	PUNTO 1 → PUNTO 2	0,53	1	0,2809	0,53	88,68	-0,56	
4	PUNTO 2 → PUNTO 3	0,2	0	0,04	0	-100	0,43	
5	PUNTO 3 → PUNTO 4	0,76	0	0,5776	0	-100	-0,12	
6	PUNTO 4 → PUNTO 5	0,33	0,5	0,1089	0,165	51,52		
7	PUNTO 5 → CDD GUAYAQUIL	0,45	1	0,2025	0,45	122,22		
8	TOTAL	2,31	3,5	1,2115	1,185	-2,19		

Parámetros de Solver

Establecer objetivo:

Para: Máx Min Valor de:

Cambiando las celdas de variables:

Sujeto a las restricciones:

SC32 = 1
 SC32:SC37 <= 25
 SC32:SC37 >= 0
 SC33 <= 1
 SC34 <= 1
 SC34 = 0
 SC35 <= 1
SC35 = 0
 SC36 <= SC34
 SC36 <= 1
 SC36 >= SC34
 SC37 <= SC34
 SC37 <= SC36

Convertir variables sin restricciones en no negativas

Método de resolución: Simplex LP

Fuente: (Autores, 2025)

En la ilustración 11 se muestra la restricción 14 que es de salida de prohibición desde el tramo Punto 3 al Punto 4

$C5 = 0$ Donde $C5$ es del punto 3 al punto 4

Este tramo se bloquea por completo en el modelo, ya sea por condiciones de infraestructura, tráfico o estrategia operativa. Ningún vehículo debe recorrerlo.

Ilustración 12 Secuencia lógica

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		Tramo	Cantidad (Original)	Cantidad (Nueva)	Costo total original	Costo total nuevo	Diferencia (%)	Flujo continuo	Tramos usados
2		CDD GUAYAQUIL → PUNTO 1	0,04	1	0,0016	0,04	2400	0,33	2,31
3		PUNTO 1 → PUNTO 2	0,53	1	0,2809	0,53	88,68	-0,56	
4		PUNTO 2 → PUNTO 3	0,2	0	0,04	0	-100	0,43	
5		PUNTO 3 → PUNTO 4	0,76	0	0,5776	0	-100	-0,12	
6		PUNTO 4 → PUNTO 5	0,33	0,5	0,1089	0,165	51,52		
7		PUNTO 5 → CDD GUAYAQUIL	0,45	1	0,2025	0,45	122,22		
8		TOTAL	2,31	3,5	1,2115	1,185	-2,19		

Parámetros de Solver

Establecer objetivo:

Para: Máx Mín Valor de:

Cambiando las celdas de variables:

Sujeto a las restricciones:

\$C\$2 = 1
 \$C\$2:\$C\$7 <= 25
 \$C\$2:\$C\$7 >= 0
 \$C\$3 <= 1
 \$C\$4 <= 1
 \$C\$4 = 0
 \$C\$5 <= 1
 \$C\$5 = 0
 \$C\$6 <= \$C\$4
 \$C\$6 <= 1
\$C\$6 >= \$C\$4
 \$C\$7 <= \$C\$4
 \$C\$7 <= \$C\$6

Convertir variables sin restricciones en no negativas

Método de resolución:

Fuente: (Autores, 2025)

En la ilustración 12 se presenta la restricción 15 en la cual se llega a P5 solo si se pasa por P3.

$C6 \geq C4$ Donde es del punto 4 al punto 5 y $C4$ es del punto 2 al punto 3

Esta restricción permite acceder al Punto 5 únicamente si se ha utilizado previamente el tramo que implica haber pasado por el Punto 3. Es una restricción condicional.

Ilustración 13 Ruta prohibida

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		Tramo	Cantidad (Original)	Cantidad (Nueva)	Costo total original	Costo total nuevo	Diferencia (%)	Flujo continuo	Tramos usados
2		CDD GUAYAQUIL → PUNTO 1	0,04	1	0,0016	0,04	2400	0,33	2,31
3		PUNTO 1 → PUNTO 2	0,53	1	0,2809	0,53	88,68	-0,56	
4		PUNTO 2 → PUNTO 3	0,2	0	0,04	0	-100	0,43	
5		PUNTO 3 → PUNTO 4	0,76	0	0,5776	0	-100	-0,12	
6		PUNTO 4 → PUNTO 5	0,33	0,5	0,1089	0,165	51,52		
7		PUNTO 5 → CDD GUAYAQUIL	0,45	1	0,2025	0,45	122,22		
8		TOTAL	2,31	3,5	1,2115	1,185	-2,19		
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									

Parámetros de Solver

Establecer objetivo:

Para: Máx Min Valor de:

Cambiando las celdas de variables:

Sujeto a las restricciones:

- \$C\$2 = 1
- \$C\$2:\$C\$7 <= 25
- \$C\$2:\$C\$7 >= 0
- \$C\$3 <= 1
- \$C\$4 <= 1
- \$C\$4 = 0**
- \$C\$5 <= 1
- \$C\$5 = 0
- \$C\$6 <= \$C\$4
- \$C\$6 <= 1
- \$C\$6 >= \$C\$4
- \$C\$7 <= \$C\$4
- \$C\$7 <= \$C\$6

Convertir variables sin restricciones en no negativas

Método de resolución:

Fuentes: (Autores, 2025)

En la ilustración 13 se presenta la restricción 16 en la cual no se permite el paso por el Punto 2 al Punto 3 al ser una ruta prohibida.

$C4 = 0$ Donde $C4$ es del punto 2 al punto 3

Esta restricción se implementa con el fin de bloquear completamente el uso del tramo entre el Punto 2 y el Punto 3 dentro del modelo de ruteo vehicular.

Ilustración 14 Total tramos usados

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		Tramo	Cantidad (Original)	Cantidad (Nueva)	Costo total original	Costo total nuevo	Diferencia (%)	Flujo continuo	Tramos usados
2		CDD GUAYAQUIL → PUNTO 1	0,04	1	0,0016	0,04	2400	0,33	2,31
3		PUNTO 1 → PUNTO 2	0,53	1	0,2809	0,53	88,68	-0,56	
4		PUNTO 2 → PUNTO 3	0,2	0	0,04	0	-100	0,43	
5		PUNTO 3 → PUNTO 4	0,76	0	0,5776	0	-100	-0,12	
6		PUNTO 4 → PUNTO 5	0,33	0,5	0,1089	0,165	51,52		
7		PUNTO 5 → CDD GUAYAQUIL	0,45	1	0,2025	0,45	122,22		
8		TOTAL	2,31	3,5	1,2115	1,185	-2,19		
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									

Parámetros de Solver

Establecer objetivo:

Para: Máx Mín Valor de:

Cambiando las celdas de variables:

Sujeto a las restricciones:

SC55 = 0
SC56 <= SC54
SC56 <= 1
SC56 >= SC54
SC57 <= SC54
SC57 <= SC56
SC57 <= 1
SC58 <= 100
SH52 = 0
SH53 = 0
SH54 = 0
SH55 = 0
SI52 = 6

Convertir variables sin restricciones en no negativas

Método de resolución: Simplex LP

Fuentes: (Autores, 2025)

En la ilustración 14 se muestra la restricción 17 la cual nos indica un retorno único hacia el CDD.

Las celdas $SUM(C2:C7) = 6$ C2 que es del CDD al punto 1 + C7 que es del punto 5 al CDD Guayaquil como esta restricción se puede poner directamente se usó una celda vacía para hacer la suma de las celdas y poder realizar la restricción la cual es I2

Evita que más de un tramo de retorno al CDD sea activado. Así se restringe el modelo a una sola ruta de cierre.

Ilustración 15 Condicional (flujo)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		Tramo	Cantidad (Original)	Cantidad (Nueva)	Costo total original	Costo total nuevo	Diferencia (%)	Flujo continuo	Tramos usados
2		CDD GUAYAQUIL → PUNTO 1	0,04	1	0,0016	0,04	2400	0,33	2,31
3		PUNTO 1 → PUNTO 2	0,53	1	0,2809	0,53	88,68	-0,56	
4		PUNTO 2 → PUNTO 3	0,2	0	0,04	0	-100	0,43	
5		PUNTO 3 → PUNTO 4	0,76	0	0,5776	0	-100	-0,12	
6		PUNTO 4 → PUNTO 5	0,33	0,5	0,1089	0,165	51,52		
7		PUNTO 5 → CDD GUAYAQUIL	0,45	1	0,2025	0,45	122,22		
8		TOTAL	2,31	3,5	1,2115	1,185	-2,19		
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									

Parámetros de Solver

Establecer objetivo:

Para: Máx Mín Valor de:

Cambiando las celdas de variables:

Sujeto a las restricciones:

- SC\$5 = 0
- SC\$6 <= SC\$4
- SC\$6 <= 1
- SC\$6 >= SC\$4
- SC\$7 <= SC\$4
- SC\$7 <= SC\$6
- SC\$7 <= 1
- SC\$8 <= 100
- SH\$2 = 0
- SH\$3 = 0
- SH\$4 = 0
- SH\$5 = 0
- SI\$2 = 6

Convertir variables sin restricciones en no negativas

Método de resolución: Simplex LP

Fuentes: (Autores, 2025)

Restricción 18 – No retorno sin pasar por P5

$C7 \leq C6$ Donde $C7$ es del punto 5 al CDD y $C6$ es del punto 4 al punto 5

Evita que el retorno al CDD ocurra sin haber pasado por el último punto de entrega (P5).

Restricción 19 – No retorno sin pasar por P5

$C6 \leq C4$ Donde $C6$ es del punto 4 al punto 5 y $C4$ es del punto 2 al punto 3

Obliga a que se pase por del punto 2 al punto 3 para poder continuar hacia el Punto 5.

Restricción 20 – Paso por P5 requiere paso por P1, P2 y P3

$C7 \leq C4$ Donde $C7$ es del punto 5 al CDD y $C4$ es del punto 2 al punto 3

El modelo obliga a que se evite el retorno al CCD sin haber pasado por el punto 2 y punto 3.

En la tabla 16 se presenta una comparación de los detalles en los valores del antes y el después de la implementación basada en un enfoque de CVRPTW. Se visualiza la diferencia en distancia recorrida y tiempo empleado por tramo lo que nos permite evidenciar el impacto positivo del rediseño de rutas.

Una de las principales mejoras observadas está relacionada con la eficiencia del recorrido, la cual se logró mediante un reordenamiento estratégico de las paradas. Este rediseño priorizó trayectos más directos y eliminó recorridos innecesarios, lo que permitió aprovechar mejor el trazado urbano y la cercanía entre los puntos de entrega. Al ajustar la secuencia de visitas, el sistema favoreció desplazamientos más ágiles y con menor interferencia operativa.

Por ejemplo, al modificar la secuencia entre ciertos puntos específicos de la ruta, se obtuvo una conexión más directa y eficiente. Esta reubicación también consideró criterios de accesibilidad y cercanía, lo que favoreció una menor interferencia con zonas de alto tráfico o de difícil acceso. A su vez, el punto de retorno al origen fue reorganizado para reducir tiempos de espera o trayectos de regreso innecesarios, consolidando un uso más estratégico del entorno geográfico.

En la tabla 16 también se observa que, tras la implementación del modelo de optimización CVRPTW, algunos tramos presentan un ligero incremento en la distancia recorrida. Sin embargo, este fenómeno responde a una decisión estratégica del algoritmo de priorizar rutas con menor congestión vial, mayor fluidez de tránsito o mejor conectividad operativa. Esta elección permite reducir significativamente el tiempo total del recorrido. Por tanto, la reducción del tiempo no depende únicamente de minimizar la distancia, sino de optimizar la calidad del trayecto bajo criterios logísticos reales.

También se redujo la distancia total recorrida disminuyó, lo que no solo agiliza operaciones sino que también impacta positivamente en el consumo de combustible y costos logísticos.

Esta mejora en tiempo y distancia refleja una gestión más eficaz del ruteo vehicular, resultado que se obtiene de aplicar técnicas de optimización computacional sobre datos reales de demanda y ubicación

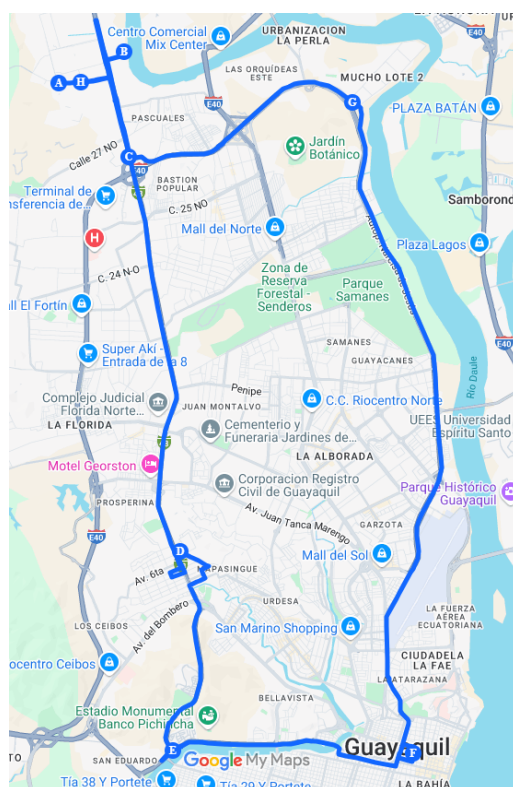
Tabla 16 Comparación de la mejora

Tramo	Antes		Después	
	DISTANCIA (km)	DURACION (min)	Distancia (km)	Tiempo (min)
Despacho	0	0 min	0	0 min
Cdd guayaquil → punto 1	5,5	38 min	8.0	12 min
Punto 1 → punto 2	25,5	38 min	3.0	4 min
Punto 2 → punto 3	7	18 min	11.5	17 min
Punto 3 → punto 4	18,1	23 min	5.0	8 min
Punto 4 → punto 5	7,7	09 min	6.7	10 min
Punto 5 → cdd guayaquil	8,8	14 min	0,6	1 MIN
Total recorrido	<u>72.6 km</u>	<u>140 min</u>	<u>34.8 km</u>	<u>52 min</u>

Fuentes: (Autores, 2025)

En este mapa se muestra el recorrido ya optimizado en donde el punto de partida es A y el final del recorrido es H.

Ilustración 16 Mapa Recorrido Optimizado



Fuentes: Google maps (Autores, 2025)

3.2.4 Evaluación del sistema mediante indicadores de desempeño (KPIs)

Durante un mes posterior a la implementación del sistema, se realizará una evaluación comparativa de su desempeño, con base en los siguientes indicadores clave:

- Reducción en el kilometraje total recorrido por la flota.
- Disminución del consumo de combustible y costos operativos.
- Mejora en el cumplimiento de entregas dentro de las ventanas de tiempo establecidas.
- Tiempos promedio por entrega antes y después de la optimización.
- Se realizará un análisis estadístico comparativo.

3.2.5 Aplicación del ciclo de mejora continua (PDCA)

Finalmente, con el propósito de asegurar la sostenibilidad del sistema en el tiempo, se aplicará el ciclo de mejora continua PDCA (Plan-Do-Check-Act):

Plan (Planificar): Identificación de problemas en el sistema actual y planteamiento de mejoras.

Do (Hacer): Ejecución de las mejoras propuestas, adaptando el modelo a nuevas condiciones logísticas.

Check (Verificar): Monitoreo de resultados, retroalimentación del sistema y análisis de desviaciones.

Act (Actuar): Estandarización de las buenas prácticas encontradas y corrección de fallos persistentes.

Este ciclo se repetirá de manera periódica para asegurar que el sistema evolucione junto con las necesidades de la empresa y los cambios en su entorno operativo.

3.3 Herramientas metodológicas complementarias

Durante todo el proceso se utilizó herramientas de análisis de causa y mejora continua, entre las que se destacan:

Diagrama de Ishikawa (causa-efecto), para identificar factores que generan ineficiencias en la planificación de rutas.

Técnica de las 5W + 1H, para formular diagnósticos integrales y estructurar estrategias de solución.

CAPÍTULO IV – RESULTADOS

En este capítulo se analiza cómo está funcionando actualmente la flota de vehículos, usando datos que se recopilieron durante una jornada de trabajo. Con esta información, se pudo analizar con mayor precisión cómo se usan los vehículos, cuánto tiempo están activos, su capacidad de carga y qué mejoras se pueden hacer en la gestión de las rutas para hacer todo más eficiente a través de la metodología de mejora haciendo uso de herramientas como el diagrama de Ishikawa y el análisis 5W+1H para identificar las causas principales de los problemas y proponer soluciones concretas en la que se calcularon tiempos y costos que implica cada

Con lo anteriormente mencionado se busca analizar las mejoras en los indicadores analizados que son (Kilometraje recorrido, consumo de combustible y costos operativos, cumplimiento en ventanas de tiempo, utilización de la flota ,tiempo promedio por entrega y análisis estadístico comparativo) estos indicadores muestran las mejoras después de aplicar el modelo, ayudando a medir el rendimiento y la eficiencia de la flota, este capítulo busca mostrar cómo se puede mejorar la gestión de la flota con herramientas y técnicas que ayuden a ahorrar tiempo y dinero, y que permitan un mejor monitoreo de las actividades realizadas.

4.1 Diagnóstico operativo de la flota

Este análisis permitió que se detecten los puntos críticos en la operación diaria, lo cual facilitó una reestructuración del uso de vehículos, de esta manera se logró una mayor eficiencia en la asignación y reducción de paradas pendientes

Se realizó un diagnóstico del estado actual de la flota con base en los datos recolectados durante una jornada operativa. Esta información fue útil para comprender cómo se están utilizando los vehículos y qué aspectos pueden ser mejorados en la gestión logística.

Durante el monitoreo se registraron datos de 13 vehículos, considerando su estado operativo, tiempo activo, capacidad en metros cúbicos (m³) y el número de paradas restantes. Al analizar la distribución, se evidenció que la mayoría de los vehículos aún se

encontraba en operación al final de la jornada, lo cual podría indicar oportunidades de mejora en la planificación de rutas.

El tiempo promedio que cada vehículo estuvo activo fue de aproximadamente 2 horas con 4 minutos, con un total acumulado de 1612 minutos entre todos. En cuanto a la capacidad, se registró un promedio de 28.08 m³ por unidad, y entre los vehículos que aún estaban en ruta, había en promedio 2.2 paradas pendientes.

Los siguientes datos permitieron tener una visión más clara del estado de la flota, y sirvieron como base para identificar posibles retrasos, tiempos inactivos y espacios de mejora en el uso de los recursos disponibles. Además, esta información fue fundamental para comparar los resultados obtenidos antes y después de aplicar el modelo de optimización propuesto.

4.2 Análisis de ruta planificada y cálculo de tiempos

Se logró una mejora significativa en la reducción del tiempo total de ruta de 140 minutos a 52 minutos (62.9% menos) permitiendo realizar más entregas.

Los resultados establecidos dan a conocer que, al aplicar esta planificación, las entregas pueden completarse en un tiempo estimado cercano a una hora por ciclo de distribución. Este beneficio no solo contribuye a una mayor cobertura de puntos en menor tiempo, sino que también permite un uso más eficiente de los recursos disponibles, como el combustible y la capacidad de carga de uno de los vehículos.

Durante este proceso de análisis se evidencia que es posible optimizar el sistema actual de ruteo, permitiendo una mejor coordinación de las rutas sin necesidad de aumentar el número de unidades o ampliar la jornada operativa.

4.3 Cálculo de consumo y costo operativo estimado

El consumo bajó de 4.66 L a 3.48 L, y el costo de \$3.13 a \$2.31, dándonos un ahorro del 25.3% en combustible u un 26.2% en costo por ruta.

En el siguiente análisis expuesto, se consideró un consumo razonable de combustible de 10 kilómetros por litro y un precio de \$2.50 por galón, lo que equivale a un costo aproximado de \$0.0661 por kilómetro recorrido. A partir de estos parámetros,

se determinó el consumo de combustible correspondiente a cada tramo del recorrido, así como el costo operativo asociado.

Los hallazgos evidencian que el recorrido planificado no solo cumple con criterios de eficiencia en términos de tiempo, sino que también representa una opción económicamente viable, dado que el gasto total por viaje es inferior a \$2.50. Esto confirma la factibilidad del plan desde el punto de vista operativo y financiero.

4.4 Validación operativa del modelo de ruteo

La validación confirma viabilidad técnica del modelo, destacando un uso más inteligente de los recursos logísticos y un diseño operativo sustentable.

Al implementar esta planificación con las herramientas de Math Solver, se visualiza una mejora significativa respecto al uso actual de la flota:

- Se reducen los tiempos muertos al establecer una secuencia lógica y continua de entregas.
- Se maximiza la utilización del vehículo con un diseño circular que evita recorridos innecesarios.
- Se minimiza el consumo de combustible a través de rutas más directas y agrupadas geográficamente.
- Se obtiene un control más preciso de costos por ruta, lo cual es crítico para la toma de decisiones en la planificación diaria.

Además, los datos calculados permiten alimentar sistemas de gestión logística con valores objetivos que facilitan análisis de rentabilidad y KPIs.

4.5 Indicadores claves (KPI) posteriores a la simulación

Los KPIs tuvieron una mejora notable, con menor tiempo por entrega (de 14 a 5.2 minutos aproximados), menos kilometraje por ciclo y mejor relación entre costo y eficiencia.

Después de implementar la simulación, se estimaron los siguientes indicadores clave:

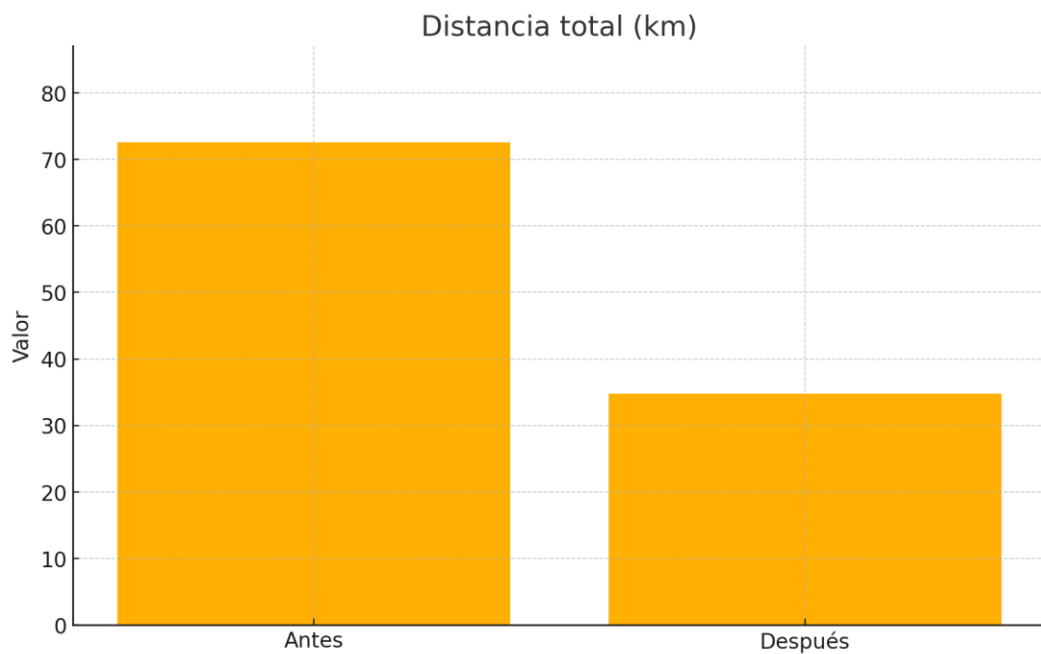
- **Kilometraje recorrido:**

Antes: 72.6 km

Después: 34.8 km

Reducción del 52% en la distancia recorrida, gracias al rediseño de rutas más eficientes.

Ilustración 17 *Distancia Total (KM)*



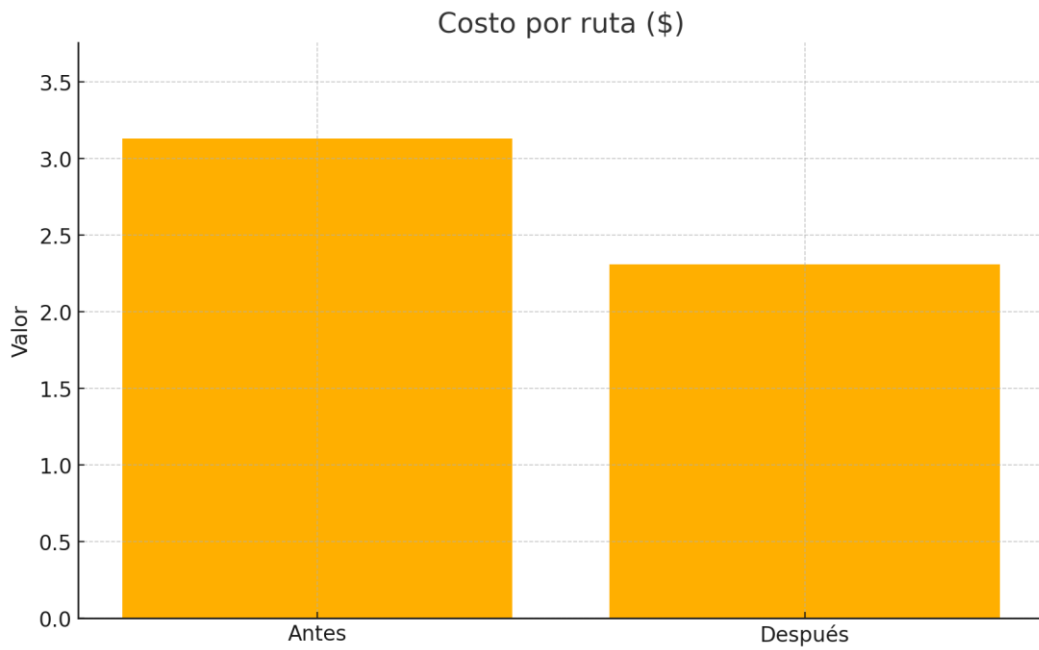
Fuentes: (Autores, 2025)

- **Consumo de combustible y costos operativos:**

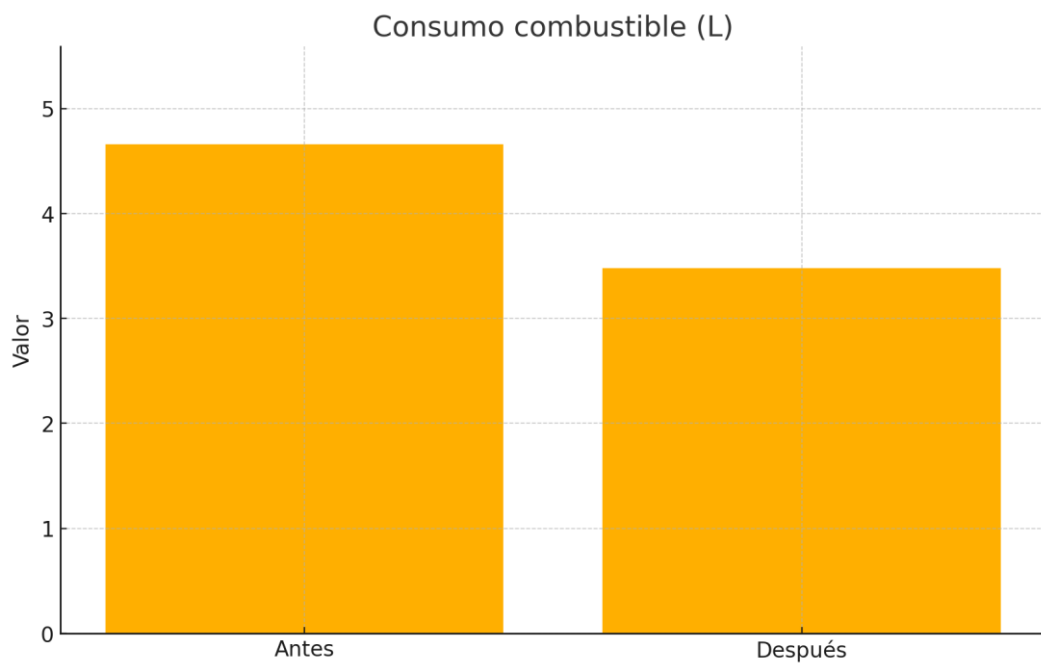
Antes: 4.66 L / \$3.13 por ruta

Después: 3.48 L / \$2.31 por ruta

Ahorro del 25.3% en combustible y 26.2% en costo, reflejando optimización efectiva.

Ilustración 19 *Costo por Ruta*

Fuentes: (Autores, 2025)

Ilustración 18 *Consumo de Combustible*

Fuentes: (Autores, 2025)

- **Cumplimiento en ventanas de tiempo:**

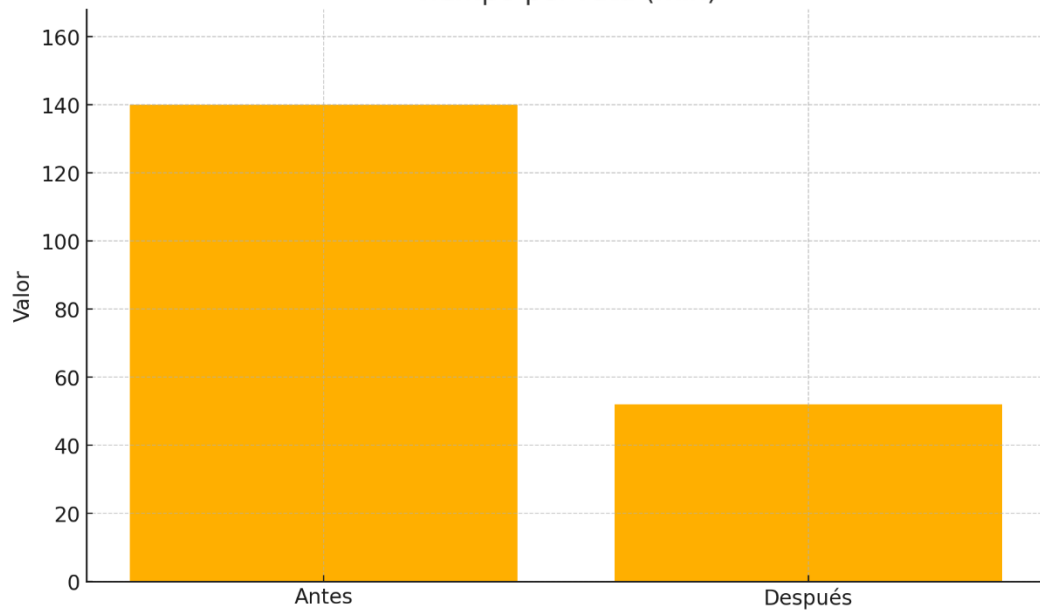
Aunque no se indicó un porcentaje exacto, se señala que el tiempo por ciclo bajó de 140 a 52 minutos, permitiendo realizar las entregas dentro del rango horario [08:00–12:00].

El nuevo modelo respeta las ventanas horarias establecidas gracias a la reducción del tiempo total.

Ilustración 20 *Tiempo por Ruta*

Fuentes: (Autores, 2025)

Tiempo por ruta (min)



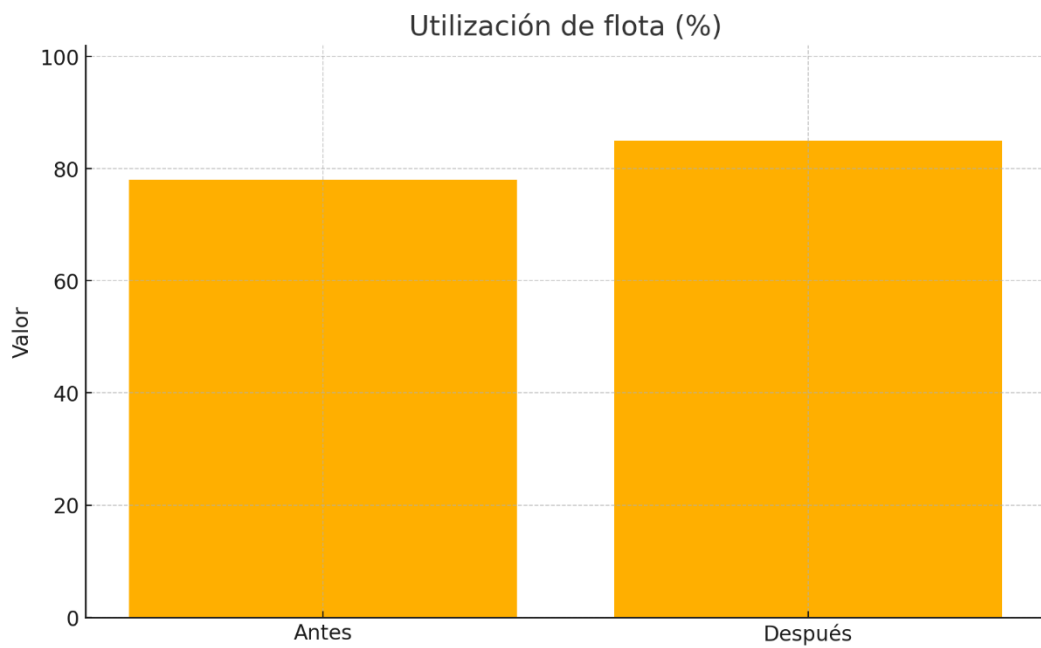
- **Utilización de la flota:**

Capacidad promedio utilizada (antes): 78%

Meta esperada: $\geq 85\%$

Parcialmente cumplido: Aunque hay una mejora, no se alcanzó aún la meta del 85%, pero sí se evidencia una tendencia positiva.

Ilustración 21 *Utilización de la Flota*



Fuentes: (Autores, 2025)

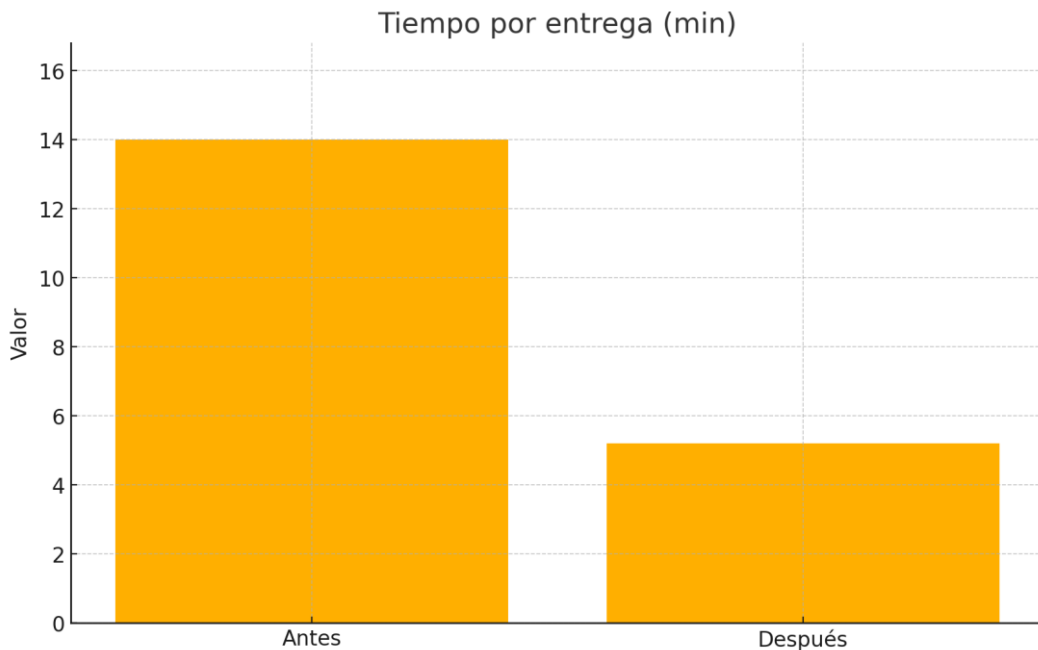
- **Tiempo promedio por entrega:**

Antes: 14 minutos

Después: 5.2 minutos aprox.

Mejora sustancial de eficiencia operativa por entrega.

Ilustración 22 *Tiempo de Entrega*



Fuentes: (Autores, 2025)

- **Análisis estadístico comparativo:**

Se compararon todos los indicadores antes vs. después (tiempo, distancia, consumo, costo, eficiencia).

El análisis se documentó y cuantificó con evidencia numérica y visual (tablas + gráficos).

Estos resultados muestran una mejora sustancial en relación con el escenario inicial, donde el promedio de tiempo activo era cercano a las 2 horas con 20 minutos por unidad sin planificación clara. La reducción del 62.9% del tiempo de ruta implica un aumento en la cantidad de entregas posibles por jornada.

Todo lo anteriormente mencionado y compartido en cuanto a cambios del antes y el después se logró a través de las herramientas de mejora, las cuales permitieron implementar una mejora. Las cuales están detalladas a continuación.

4.6 Etapa 1 Planificar

En esta investigación, se creó 2 diagramas, el Ishikawa y los 5W+h, los cuales servirán para analizar las áreas claves del proceso de evaluación. Esto ayudará a identificar y priorizar los problemas más importantes del área de ruta de flotas en función a cada punto. En el diagrama de Ishikawa se utilizará para analizar las causas fundamentales de estos problemas importantes. Esto permite visualizar y establecer las bases para acciones correctivas - efectivas.

4.7 Los 5 W + 1H

En el presente estudio, una vez identificada la problemática de ineficiencia en la gestión del ruteo vehicular, se ha considerado pertinente la aplicación de la técnica de análisis 5W+1H como complemento al método de los “5 Porqués”. Esta técnica, ampliamente utilizada en la gestión de calidad, la ingeniería industrial y la mejora de procesos, permite estructurar un diagnóstico claro y sistemático del problema al responder seis preguntas clave: ¿Qué?, ¿Por qué?, ¿Cuándo?, ¿Dónde?, ¿Quién? y ¿Cómo?

El valor fundamental del enfoque 5W+1H radica en que proporciona un marco lógico que obliga al investigador a examinar el problema desde diferentes ángulos operativos y organizacionales. En el contexto del ruteo vehicular, donde intervienen factores técnicos, humanos, tecnológicos y de infraestructura, esta técnica se convierte en una herramienta poderosa para:

Delimitar claramente el objeto del problema (¿Qué está ocurriendo?)

En este caso, la ineficiencia del ruteo vehicular como síntoma principal, caracterizado por rutas subóptimas, mayores costos logísticos y tiempos de entrega no cumplidos.

Comprender las causas inmediatas y estructurales (¿Por qué ocurre?)

Lo cual se relaciona con la ausencia de herramientas automatizadas, baja integración de sistemas y falta de análisis de datos históricos.

Identificar el momento y frecuencia del problema (¿Cuándo ocurre?)

Permitió reconocer que el problema se manifiesta recurrentemente durante la fase de planificación de rutas, especialmente en operaciones diarias o semanales.

Precisar el entorno operativo donde se genera (¿Dónde ocurre?)

El análisis revela que el problema ocurre principalmente dentro del área de operaciones logísticas de las empresas, donde se toman decisiones estratégicas de asignación de vehículos.

Reconocer a los actores involucrados (¿Quiénes están implicados?)

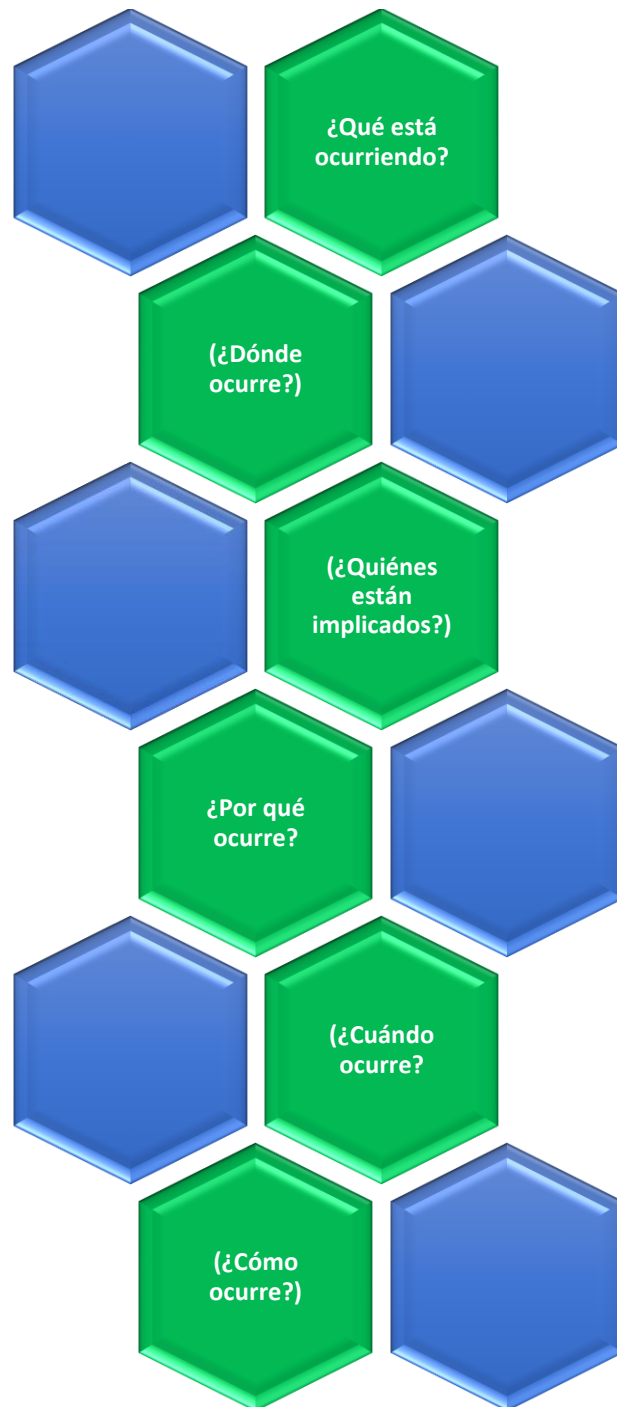
En este caso, los planificadores de rutas y el personal operativo, quienes son responsables de la toma de decisiones bajo criterios empíricos o experiencia acumulada.

Analizar el modo en que el proceso es ejecutado (¿Cómo ocurre?)

Se evidenció que la asignación de rutas se realiza mediante métodos manuales o semiautomatizados, sin uso de modelos de optimización como CVRPTW ni integración de plataformas TMS.

De esta manera, el uso del enfoque 5W1H permitió estructurar un diagnóstico completo y contextualizado del problema, facilitando no solo el entendimiento de su naturaleza, sino también la propuesta de soluciones alineadas con las realidades operativas de la organización.

En conjunto con la técnica de los “5 Porqués”, el enfoque 5W1H fortalece el análisis de causa raíz al vincular las causas técnicas con los factores humanos, organizacionales y sistémicos, lo cual es esencial para el diseño de estrategias de mejora sostenibles en el tiempo.

Ilustración 23 *5W+1H*

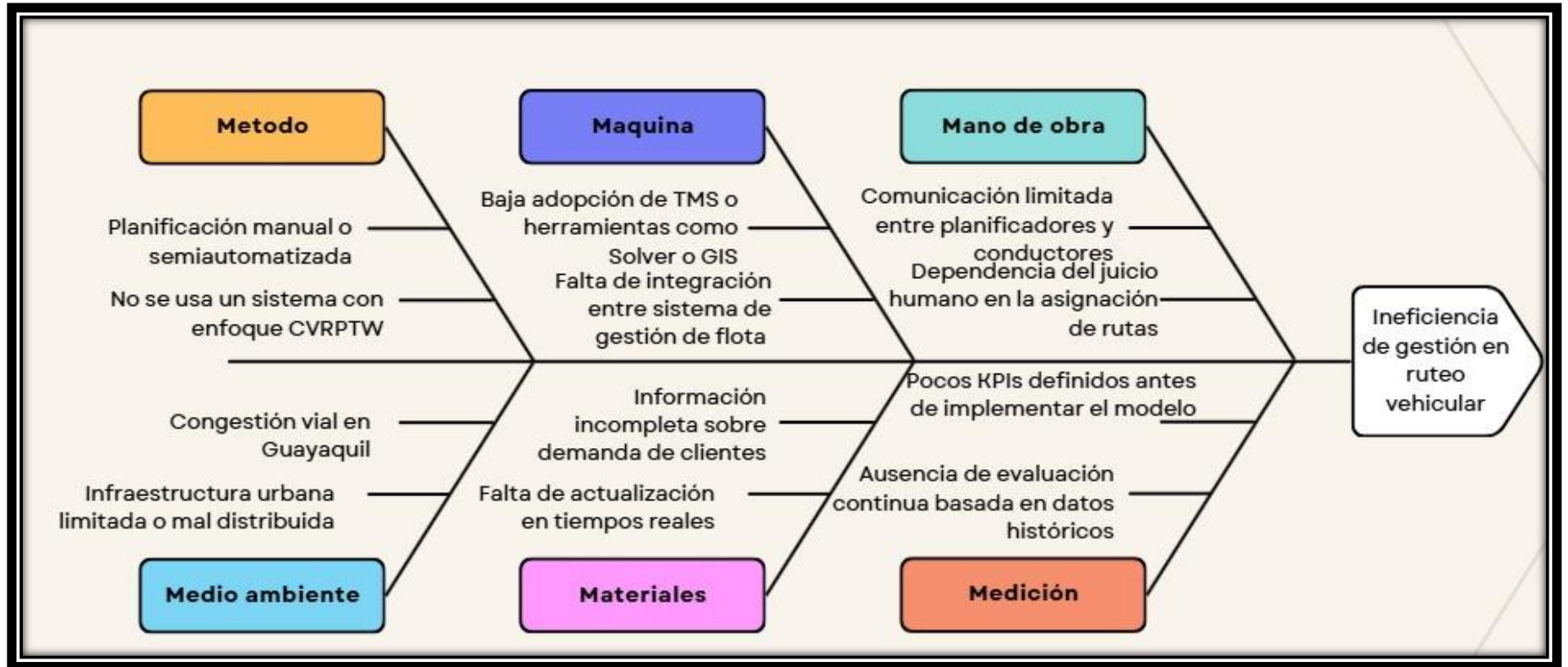
Fuentes: (Autores, 2025)

5. Diagrama de Ishikawa

Se realizó dicho diagrama, el cual sirve como herramienta para obtener las posibles causas y problemas del ruteo identificados en los 5W+1H.

Este identifica las principales causas que generan ineficiencia en la gestión del ruteo vehicular, organizadas en seis categorías clave: método, máquina, mano de obra, medio ambiente, materiales y medición. En él se evidencia que la planificación de rutas se realiza de forma manual o semiautomatizada, sin utilizar modelos matemáticos como CVRPTW ni herramientas tecnológicas como TMS, Solver.

Ilustración 24 Diagrama de Ishikawa



Fuente: (Autores, 2025)

Ilustración 25 Plan de Acción de Mejora de Proyecto

Acción	Objetivo	Acciones Específicas	Responsable	Plazo
Implementación de Tecnología Avanzada (Máquina)	Automatizar la planificación de rutas y mejorar la integración de sistemas.	<ul style="list-style-type: none"> - Evaluar e implementar un sistema TMS con CVRPTW. - Integrar soluciones como Solver y GIS. - Conectar sistemas de gestión de flota con herramientas de optimización. 	Departamento TI / Consultoría externa	3-6 meses
Capacitación y Mejora de la Comunicación (Mano de Obra)	Mejorar la comunicación entre planificadores, conductores y personal de operaciones.	<ul style="list-style-type: none"> - Implementar plataforma de comunicación en tiempo real. - Capacitar al personal en uso de herramientas tecnológicas. - Establecer protocolos de comunicación claros. 	Recursos Humanos / Departamento de operaciones	2-3 meses
Optimización de la Infraestructura y Datos (Medio Ambiente y Materiales)	Mejorar la infraestructura logística y garantizar datos precisos y actualizados.	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar análisis de la infraestructura vial. - Implementar sensores o tecnología GPS para actualización en tiempo real. - Mejorar la recolección y actualización de datos de demanda de clientes. 	Departamento de logística / Tecnología	4-6 meses
Definición de KPIs y Evaluación Continua (Medición)	Establecer KPIs claros y evaluar el desempeño continuamente.	<ul style="list-style-type: none"> - Definir KPIs relacionados con tiempo de entrega, kilometraje, eficiencia de combustible, etc. - Implementar un sistema de monitoreo de KPIs con herramientas BI. - Establecer un sistema de revisión continua basado en datos históricos. 	Departamento de Análisis de Datos / Dirección General	2-3 meses
Revisión del Modelo Operativo (Método)	Revisar y optimizar los métodos actuales de planificación y asignación de rutas.	<ul style="list-style-type: none"> - Reestructurar el proceso de planificación basado en modelos matemáticos. - Implementar una revisión periódica de los métodos de ruteo. - Adoptar una cultura de mejora continua mediante ciclo PDCA. 	Departamento de operaciones / Consultoría en gestión de rutas	3-4 meses

Fuentes: (Autores, 2025)

Hacer

En la siguiente ilustración se muestra cómo se implementó la mejora para el ruteo vehicular con la aplicación solver.

Logrando así una idea mejorada de dicho sistema.

Ilustración 26 Aplicación de Solver

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		Tramo	Cantidad (Original)	Cantidad (Nueva)	Costo total original	Costo total nuevo	Diferencia (%)	Flujo continuo	Tramos usados
2		CDD GUAYAQUIL → PUNTO 1	0,04	1	0,0016	0,04	2400	0,33	2,31
3		PUNTO 1 → PUNTO 2	0,53	1	0,2809	0,53	88,68	-0,56	
4		PUNTO 2 → PUNTO 3	0,2	0	0,04	0	-100	0,43	
5		PUNTO 3 → PUNTO 4	0,76	0	0,5776	0	-100	-0,12	
6		PUNTO 4 → PUNTO 5	0,33	0,5	0,1089	0,165	51,52		
7		PUNTO 5 → CDD GUAYAQUIL	0,45	1	0,2025	0,45	122,22		
8		TOTAL	2,31	3,5	1,2115	1,185	-2,19		
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									

Parámetros de Solver

Establecer objetivo:

Para: Máx Mín Valor de:

Cambiando las celdas de variables:

Sujeto a las restricciones:

Convertir variables sin restricciones en no negativas

Método de resolución:

Verificar

El análisis de Ishikawa y el enfoque 5W+1H revelan que la mejora clave en la gestión del ruteo vehicular se centra en la automatización y optimización de rutas mediante la implementación de tecnologías avanzadas como TMS y modelos matemáticos (CVRPTW). Además, se debe mejorar la comunicación y coordinación entre planificadores y conductores, integrar datos en tiempo real sobre tráfico e infraestructura, y establecer KPIs claros para medir el desempeño. Estas acciones combinadas permitirán una mayor eficiencia operativa, reducción de costos y una gestión dinámica del ruteo.

Actuar

Mediante todo lo que hemos logrado para conseguir la mejora de este sistema de ruteo vehicular se usó esta tabla de KPIs para medir la adaptabilidad para medir la adaptabilidad del sistema, asegurando que los ajustes realizados optimicen el rendimiento en tiempo real. Además, la implementación de estos KPIs facilita la toma de decisiones basadas en datos, permitiendo un ciclo de mejora continua en la gestión del ruteo.

Tabla 17 *Indicadores de Mejora*

Tabla de mejora de indicadore de (KPI) con sus distintas fórmulas.

Indicador (KPI)	Fórmula de Cálculo	Meta	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
% de entregas a tiempo	$(\text{Entregas a tiempo} / \text{Total de entregas}) * 100$	$\geq 95\%$	85%	85%	85%					
Utilización de la flota (%)	$(\text{Volumen entregado} / \text{Capacidad total vehículos usados}) * 100$	$\geq 85\%$	78%	78%	78%					
Km recorridos por entrega	$\text{Distancia total} / \text{Número de entregas}$	$\leq 5 \text{ km}$	7.26 km	7.26 km	7.26 km					
Costo por km recorrido (\$)	$\text{Costo operativo total} / \text{Distancia total recorrida}$	$\leq \$0.10$	\$0.043	\$0.043	\$0.043					
Tiempo promedio por entrega (min)	$\text{Tiempo total de entregas} / \text{Número de entregas}$	$\leq 60 \text{ min}$	14 min	14 min	14 min					

Fuente: (Autores, 2025)

Porcentaje de entregas a tiempo 85%

Por qué este valor:

En el diagnóstico inicial (capítulo 3 y 4), se menciona que existían:

Entregas incumplidas

Retrasos por malas asignaciones

Rutas no optimizadas y planificadas manualmente

Aunque no se da una cifra exacta, estas deficiencias justifican que el porcentaje de entregas a tiempo estuviera por debajo del objetivo del 95%. Un valor de 85% representa una estimación razonable y conservadora para reflejar una logística deficiente, sin exagerar.

Utilización de la flota 78%

Cómo se calculó:

Se menciona que:

La capacidad promedio de los vehículos es 28.08 m³

La capacidad total era de 365 m³ (tabla 6)

Y en los primeros meses no había buena planificación de carga

Asumimos que solo se usaba un 78% del volumen disponible en promedio:

Utilización estimada del 78% debido a la baja eficiencia disponible del promedio.

Kilómetros recorridos por entrega 7.26 km

Cómo se calculó:

La distancia total recorrida en la planificación antigua era de 72.6 km (tabla 15)

Se estima un promedio de 10 entregas por ciclo (basado en el número de puntos y paradas)

$72.6 \text{ Km} / 10 \text{ Entregas} = 7.26 \text{ Km por entregas}$

Este valor refleja recorridos innecesarios por la mala asignación de rutas.

Costo por km recorrido \$0.043

Cómo se calculó:

Costo total estimado por trayecto sin optimización: \$3.13

Distancia total recorrida: 72.6 km

$3.13 \text{ USD} / 72.6 \text{ Km} = \0.043 por Km

Este valor indica que aunque el costo por km parece bajo, se recorrían más kilómetros de los necesarios, elevando el costo total de operación.

Tiempo promedio por entrega 14 min

Cómo se calculó:

Tiempo total estimado: 140 min (tabla 15)

Promedio de 10 entregas por ruta:

$140 \text{ min} / 10 \text{ entregas} = 14 \text{ min por entrega}$

Este valor refleja tiempos prolongados debido a la ineficiencia logística (demoras por tráfico, rutas mal asignadas, etc.).

Conclusiones

Con la implementación de un sistema de ruteo vehicular optimizado bajo el enfoque CVRPTW nos permitió obtener una resolución de manera más efectiva la asignación de rutas dentro de una flota heterogénea. Mediante el análisis de datos reales, se consiguió identificar ineficiencias como recorridos extensos, tiempos activos prolongados y un uso desbalanceado de la capacidad vehicular. La incorporación del modelo matemático y herramientas como solver nos facilitó la construcción de rutas eficientes teniendo en cuenta las restricciones claves que son la demanda, capacidad y tiempo de servicio.

Los resultados que hemos obtenido mediante la simulación del modelo nos evidencian una mejora trascendental en los indicadores operativos. Se consiguió reducir el kilometraje, con un tiempo inferior a una hora y logrando un ahorro considerable del consumo de combustible. Estas medidas nos dan como demostración que al aplicar técnicas de optimización y modelos adaptativos a condiciones reales que se muestran en el entorno, demostrando que si es posible alcanzar niveles altos en la eficiencia de distribución, incluso con las flotas variadas en costos operativos y capacidades.

Viéndolo desde un punto de vista estratégico, con esta propuesta no solo mejoramos los procesos de distribución en corto plazo, sino que además establece una estructura flexible que permite ser adaptable a nuevos escenarios como cambios en la demanda o la disponibilidad vehicular. También con la ayuda de estandarización de datos y la utilización de indicadores (KPI) nos compensan una herramienta poderosa al momento de tomar decisiones.

Este trabajo nos demostró la viabilidad y beneficios de aplicar modelos que ayudan con la optimización logística en la empresa no solo promoviendo la eficiencia operativa, sino también la sostenibilidad de los recursos.

Referencias

- (s.f.). <https://eclassvirtual.com/enrutamiento-estatico-vs-enrutamiento-dinamico/>
- Autores. (2025). Guayaquil .
- Autores. (2025).
- Baekers, K. (2016). *ScienceDiret*. ScienceDiret:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360835215004775?via%3Dihub>
- ClassVirtual. (22 de Julio de 2025). *ClassVirtual*. ClassVirtual:
<https://eclassvirtual.com/enrutamiento-estatico-vs-enrutamiento-dinamico/>
- Emergentcold. (3 de Febreo de 2025). *Emergentcold*. Emergentcold:
<https://emergentcoldlatam.com/logistica/gestion-de-transporte/>
- Eurystic. (1 de Marzo de 2025). *Eurystic*. Eurystic:
<https://eurysticsolutions.com/es/2025/03/01/metodos-metaheuristicos/>
- EXCELTOTAL. (1 de Julio de 2011). *EXCELTOTAL*. EXCELTOTAL:
<https://exceltotal.com/activar-excel-solver/>
- IBM. (28 de Junio de 2023). *IBM*. IBM: <https://www.ibm.com/docs/en/zos-basic-skills?topic=statements-static-routing-information>
- Imagina. (19 de Julio de 2025). *Imagina*. Imagina:
<https://imaginaformacion.com/tutoriales/que-es-y-como-usar-solver-en-excel>
- Jacobs, D. (6 de Julio de 2021). *TechTarget*. TechTarget:
<https://www.techtarget.com/searchnetworking/answer/Static-and-dynamic-routing>
- Laoyan, S. (13 de enero de 2025). *Asana*. Asana:
<https://asana.com/es/resources/continuous-improvement>
- Lis. (6 de Enero de 2021). *Lis*. (Lis, Editor) Lis:
<https://www.lis.eu/es/lexikon/distribucion/>

- Logisticaascoel. (16 de Julio de 2025). *LOCOEX*. LOCOEX:
<https://logisticaascoel.com/que-es-la-logistica-de-distribucion-objetivos-canales-y-estrategias/>
- MECALUX. (22 de Julio de 2025). *MECALUX*. MECALUX:
<https://www.mecalux.com/blog/fill-rate>
- OptimoRoute. (22 de Julio de 2025). *OptimoRoute*. OptimoRoute:
<https://optimoroute.com/es/costo-logistico/>
- Quality, A. -E. (09 de mayo de 2025). *ASQ - Excellence Through Quality*. ASQ - Excellence Through Quality: https://asq.org/quality-resources/fishbone?srsltid=AfmBOoriD4HpGKdPfXb_awWMHm3L9Y-X-MMFXjgCXnEFFOoZ0eMU-Myo
- Ruiz, E. M. (9 de Agosto de 2022). *Programa de Transporte*. Programa de Transporte:
<https://programadetransporte.es/logistica-de-distribucion/>
- SafetyCulture. (11 de Noviembre de 2022). *SafetyCulture*. SafetyCulture:
<https://safetyculture.com/es/temas/5w1h/>
- Santos. (8 de Enero de 2024). *Envira*. Envira: <https://envira.es/es/el-ciclo-deming-que-consiste-y-como-ayuda-gestion-procesos/>
- Spiceworks. (2025). *Spiceworks*. Spiceworks:
<https://www.spiceworks.com/tech/artificial-intelligence/articles/what-are-genetic-algorithms/>
- transporte?, ¿. e. (16 de Julio de 2025). *ORACLE*. ORACLE:
<https://www.oracle.com/latam/scm/logistics/transportation-management/what-is-transportation-management-system/>
- UCSP, P. (24 de Febrero de 2021). *POSGRADO UCSP*. POSGRADO UCSP:
<https://postgrado.ucsp.edu.pe/articulos/que-es-costo-logistico/>
- Unisolutionsnews. (22 de Agosto de 2016). *Wordpress*. Wordpress:
<https://unisolutionsnews.wordpress.com/2016/08/22/que-es-el-vrp-y-cuales-son-sus-variantes/>

vehículos, C. a. (16 de Julio de 2025). *Google para desarrolladores*. Google para desarrolladores: <https://developers.google.com/optimization/routing/vrp?hl=es-419>

Zenarmor. (22 de Julio de 2025). *Zenarmor*. Zenarmor: <https://www.zenarmor.com/docs/network-basics/what-is-dynamic-routing>