

**OPTIMIZACIÓN DEL MODELO DE RUTAS FIJAS EN LA DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA (T2)  
PARA EL CANAL TaT EN UNA EMPRESA DE LÁCTEOS**

**Jesbleidy Sánchez Trujillo, Edward F. Vanegas Romero.**

**Universidad Piloto de Colombia.**

**Facultad de Ciencias Sociales Humanas y Administrativas.  
Maestría en Gerencia Logística y Supply Chain.**

**Proyecto Académico de Grado María  
Cristina Zapata Orrego**

**Bogotá D.C. Colombia.**

**OPTIMIZACIÓN DEL MODELO DE RUTAS FIJAS EN LA DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA  
(T2) PARA EL CANAL TaT EN UNA EMPRESA DE LÁCTEOS**

**Jesbleidy Sánchez Trujillo, Edward F. Vanegas Romero.**

**Tutor Metodológico  
Maria Cristina Zapata Orrego**

**Tuto disciplinar  
Fabiola Pinzón Hoyos**

**Trabajo de grado para obtener título de Máster en Gerencia Logística y Supply Chain**

**Universidad Piloto de Colombia.  
Facultad de Ciencias Sociales Humanas y Administrativas.  
Maestría en Gerencia Logística y Supply Chain**

**Bogotá D.C. Colombia.**

## Tabla de contenido

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Introducción .....                                                                | 7  |
| 1.Problema de investigación .....                                                 | 8  |
| 1.1.Antecedentes del problema.....                                                | 8  |
| 1.2.Descripción del problema.....                                                 | 11 |
| 1.3.Árbol de Problema.....                                                        | 12 |
| 1.4.Pregunta de Investigación.....                                                | 12 |
| 1.5.Fundamentación del problema.....                                              | 12 |
| 1.6.Determinación del Alcance del Problema.....                                   | 14 |
| 1.7.Objetivos .....                                                               | 15 |
| 1.7.1.Objetivo general.....                                                       | 15 |
| 1.7.2.Objetivos Específicos .....                                                 | 15 |
| 1.8.Árbol de objetivos.....                                                       | 16 |
| 1.9.Árbol de alternativas.....                                                    | 17 |
| 1.10.Identificación y evaluación de alternativas.....                             | 17 |
| 1.10.1.Descripción de alternativas .....                                          | 17 |
| 1.10.2.Criterios de selección:.....                                               | 18 |
| 1.11.Selección de alternativa y justificación de la propuesta de proyecto.....    | 19 |
| 2.Justificación del proyecto .....                                                | 20 |
| 3.Estado del arte.....                                                            | 23 |
| 4.Marco metodológico.....                                                         | 28 |
| 4.1.Enfoque de la investigación.....                                              | 28 |
| 4.2.Tipo de estudio.....                                                          | 29 |
| 4.3.Métodos de recolección de datos y técnicas e instrumentos de recolección..... | 30 |
| 4.4.Plan de análisis de datos.....                                                | 31 |
| 5.Marco teórico .....                                                             | 32 |
| 6.Validación del modelo por medio de simulación.....                              | 35 |
| 6.1. Formulación del modelo optimizado .....                                      | 35 |
| 6.1.1. Algoritmo de ejecución de la simulación .....                              | 35 |
| 6.1.2. Conjunto de Índices .....                                                  | 36 |
| 6.1.3. Parámetros del sistema .....                                               | 36 |

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| 6.1.4. Variables de decisión.....                                 | 37 |
| 6.2. Función Objetivo .....                                       | 37 |
| 6.3. Restricciones del modelo .....                               | 37 |
| 6.4. Flujo de funcionamiento del modelo .....                     | 39 |
| 6.5. Simulación de escenarios.....                                | 40 |
| 6.5.1. Parámetros para la simulación.....                         | 40 |
| 6.5.2. Comparación de escenarios. ....                            | 40 |
| 6.5.2.1. Escenario día valle (Baja demanda). ....                 | 41 |
| 6.5.2.2. Escenario día pico (Alta demanda). ....                  | 42 |
| 6.6. Análisis global de escenarios .....                          | 43 |
| 6.7. Conclusión de la comparación de los modelos.....             | 44 |
| 7. Inicio y planeación del proyecto .....                         | 44 |
| 7.1. Acta de constitución .....                                   | 44 |
| 7.2. Planeación del proyecto .....                                | 45 |
| 7.2.1. Gestión del alcance .....                                  | 45 |
| 7.2.1.1. <i>Requisitos del negocio</i> .....                      | 45 |
| 7.2.1.2. <i>Requisitos de la solución</i> .....                   | 46 |
| 7.2.1.2.1. <i>Funcionales</i> .....                               | 46 |
| 7.2.1.2.2. <i>No funcionales</i> .....                            | 46 |
| 7.2.1.3. <i>Matriz de Requisitos</i> . ....                       | 47 |
| 7.2.1.4. <i>Enunciado del alcance</i> .....                       | 50 |
| 7.2.1.5. <i>Estructura de desglose del trabajo (EDT)</i> . ....   | 54 |
| 7.2.1.6. <i>Diccionario de la EDT</i> . ....                      | 55 |
| 7.2.2. Gestión del cronograma.....                                | 57 |
| 7.2.2.1. <i>Definición de Actividades</i> . ....                  | 57 |
| 7.2.2.2. <i>Identificación de Hitos Principales</i> . ....        | 60 |
| 7.2.2.3. <i>Cronograma de Alto Nivel Por Fases</i> .....          | 61 |
| 7.2.2.4. <i>Línea Base del Cronograma</i> .....                   | 61 |
| 7.2.3. Gestión del Costos .....                                   | 63 |
| 7.2.3.1. <i>Estimación de costos por actividades</i> .....        | 64 |
| 7.2.3.2. <i>Estructura de desagregación de Costos (CBS)</i> ..... | 66 |
| 7.2.3.3. <i>Línea base del Costo</i> . ....                       | 67 |
| 7.2.4. Gestión de Recursos .....                                  | 67 |
| 7.2.4.1. <i>Estructura de desglose de recursos</i> .....          | 67 |

|                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------|-----|
| 7.2.4.2.Organigrama del Proyecto. ....                         | 68  |
| 7.2.4.3.Roles y responsabilidades. ....                        | 69  |
| 7.2.4.4.Matriz RACI. ....                                      | 71  |
| 7.2.5.Gestión de interesados .....                             | 73  |
| 7.2.5.1.Matriz de Clasificación e impacto de Interesados. .... | 73  |
| 7.2.5.2.Plan de involucramiento de los interesados. ....       | 78  |
| 7.2.5.3.Matriz de comunicaciones resultante .....              | 79  |
| 7.2.6.Gestión de riesgos.....                                  | 81  |
| 7.2.6.1.Estructura de desagregación de riesgos (RBS). ....     | 82  |
| 7.2.6.2.Matriz de riesgos identificados.....                   | 82  |
| 7.2.6.3.Matriz de probabilidad e impacto. ....                 | 83  |
| 7.2.6.4.Estrategias de respuesta ante riesgos. ....            | 88  |
| 7.2.6.5.Matriz resultante .....                                | 91  |
| Lecciones Aprendidas.....                                      | 92  |
| Recomendaciones .....                                          | 95  |
| Bibliografía.....                                              | 97  |
| Glosario. ....                                                 | 100 |

## Índice de tablas

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1 evaluación de alternativas .....                     | 19 |
| Tabla 2 Parámetros para simulación .....                     | 40 |
| Tabla 3 Comparativo escenario día valle .....                | 41 |
| Tabla 4 Comparativo escenario día pico .....                 | 42 |
| Tabla 5 Comparativo de funcionamientos .....                 | 43 |
| Tabla 6 matriz de trazabilidad de requisitos .....           | 47 |
| Tabla 7 Enunciado del alcance del proyecto .....             | 50 |
| Tabla 8 diccionario de la EDT .....                          | 55 |
| Tabla 9 definición de actividades .....                      | 58 |
| Tabla 10 identificación de hitos .....                       | 60 |
| Tabla 11 cronograma de alto nivel por fases .....            | 61 |
| Tabla 12 Línea base del cronograma .....                     | 63 |
| Tabla 13 Estimación de costos por actividades .....          | 64 |
| Tabla 14 roles y responsabilidades .....                     | 70 |
| Tabla 15 Matriz RACI .....                                   | 72 |
| Tabla 16 Matriz clasificación e impacto de interesados ..... | 74 |
| Tabla 17 plan de involucramiento de los interesados .....    | 78 |
| Tabla 18 matriz de comunicaciones resultante .....           | 79 |
| Tabla 19 matriz de riesgos identificados .....               | 82 |
| Tabla 20 matriz de probabilidad e impacto .....              | 84 |
| Tabla 21 mapa de calor de probabilidad e impacto .....       | 86 |
| Tabla 22 Resumen rango de colores .....                      | 87 |
| Tabla 23 estrategias de respuesta ante riesgos .....         | 88 |
| Tabla 24 Matriz resultante .....                             | 91 |

## Introducción

En el contexto actual de la gestión de la cadena de suministro, las organizaciones se enfrentan al desafío constante de buscar mejorar la eficiencia operativa en entornos caracterizados por alta variabilidad en la demanda, restricciones de capacidad y un cliente cada vez más exigente frente al nivel de servicio, en la distribución secundaria (T2) o de última milla, estas condiciones se intensifican debido a la complejidad de atender múltiples puntos de entrega con frecuencias elevadas, tiempos limitados y márgenes operativos ajustados todas características en común de un mercado tienda a tienda (TaT). En este escenario la planeación de rutas de distribución se convierte en un factor crítico para garantizar la competitividad y sostenibilidad de las operaciones logísticas.

En empresas del sector de consumo masivo, como las del segmento lácteo, el canal TaT representa uno de los principales medios de comercialización, caracterizado por pedidos de bajo volumen, alta frecuencia y una fuerte dependencia de la puntualidad en las entregas. No obstante, en muchas organizaciones, la asignación de clientes a rutas de distribución se realiza mediante esquemas estáticos o fijos, los cuales, si bien facilitan la operación en términos administrativos, limitan la capacidad de adaptación frente a la variabilidad de la demanda. Esta rigidez genera desequilibrios en la carga de trabajo entre vehículos, subutilización de recursos en escenarios de baja demanda y sobrecarga operativa en momentos de alta actividad, impactando negativamente indicadores clave como el costo por unidad transportada, los tiempos de entrega y el nivel de servicio al cliente.

A partir de esta problemática, el presente proyecto tiene como propósito desarrollar y evaluar un modelo de ruteo optimizado para la distribución secundaria (T2) en el canal TaT, orientado a mejorar la asignación de clientes y pedidos mediante un enfoque dinámico o semi dinámico. La investigación se fundamenta en principios del

Problema de Ruteo de Vehículos (VRP) y en el uso de herramientas tecnológicas como los sistemas de gestión de transporte (TMS), integrando variables operativas reales como la capacidad de los vehículos, la ubicación geográfica de los clientes, las ventanas de entrega y la variabilidad de la demanda.

La relevancia de este estudio radica en su enfoque aplicado, al abordar una problemática concreta de operación logística y proponer una solución estructurada que puede ser implementada en otros sectores. Más allá del análisis teórico, el proyecto busca generar una mejora tangible en la eficiencia del sistema de distribución, contribuyendo a la optimización del uso de la flota, la reducción de costos operativos y la mejora en los niveles de servicio.

La propuesta plantea impactos positivos en múltiples dimensiones, desde una perspectiva operativa, se proyecta un mejor balance en la carga de trabajo de los vehículos, una reducción en los tiempos de recorrido y una mayor eficiencia en la ejecución de las rutas. Financieramente, se espera una disminución en los costos logísticos asociados al transporte, especialmente en indicadores como el costo por litro movilizado y desde el enfoque de servicio, la optimización de las rutas contribuirá a mejorar la puntualidad y el cumplimiento de las entregas, fortaleciendo la relación con los clientes del canal TaT.

## **1. Problema de investigación**

### **1.1. Antecedentes del problema.**

La optimización de rutas de distribución ha sido ampliamente estudiada en el campo de la logística, la ingeniería y la investigación de operaciones, generalmente a través del Problema de Ruteo de Vehículos (VRP), considerado uno de los problemas más relevantes en la gestión de transporte debido a su impacto directo en los costos operativos y el nivel de servicio.

Desde sus inicios, este problema ha evolucionado hacia modelos más complejos que incorporan múltiples restricciones, tales como capacidad de carga, ventanas de tiempo y variabilidad en la demanda (Cadena González, 2019), todo dependiendo de la compañía en la que se aplique y el resultado que se esperemos del mismo.

Internacionalmente en diversos estudios han demostrado que la implementación de modelos de ruteo optimizado permite mejorar significativamente la eficiencia de las operaciones logísticas. Por ejemplo, investigaciones recientes sobre el problema de localización y ruteo evidencian que los enfoques actuales no solo buscan minimizar costos, sino también integrar variables como el tiempo de entrega, el balance de carga entre vehículos y la sostenibilidad de la operación, lo que nos ha llevado como logísticos al desarrollo de modelos mucho más complejos y robustos (Cabrales-Navarro et al., 2023). Estos avances reflejan una tendencia hacia soluciones más integrales que consideran la complejidad real de los sistemas logísticos modernos.

Estudios como el desarrollado por Martínez Vega et al. (2020) en una empresa de bebidas evidencian que la implementación de modelos basados en VRP con restricciones de capacidad y ventanas de tiempo permite reducir costos de transporte, mejorar la organización de la operación y aumentar el nivel de cumplimiento en las entregas. En este caso, podemos evidenciar como el uso de técnicas como algoritmos genéticos y métodos de agrupamiento permitió optimizar la asignación de clientes a rutas, generando beneficios operativos y financieros tangibles.

Investigaciones realizadas en Colombia han abordado la optimización de la distribución en el contexto de la última milla. Por ejemplo, Estupiñán Castaño (2024) propone un modelo de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo (VRPTW) aplicado a pequeñas y medianas empresas, evidenciando mejoras significativas en la eficiencia logística, la reducción de costos operativos y el cumplimiento de los tiempos de entrega. Este estudio destaca la importancia de

adaptar los modelos de optimización a las condiciones reales del entorno, incorporando herramientas tecnológicas y sistemas automatizados de toma de decisiones.

Revisando la literatura especializada, se resalta que el ruteo dinámico se ha convertido en un elemento clave para enfrentar la variabilidad de la demanda y las condiciones cambiantes del entorno logístico. La planificación de rutas basada en múltiples variables permite mejorar la eficiencia en la distribución, optimizar el uso de la flota y fortalecer la capacidad de respuesta de las organizaciones frente a escenarios de incertidumbre (González, 2023).

Sin embargo, a pesar de los avances teóricos y aplicados en la optimización de rutas, evidenciamos que existe un reto importante en la implementación de estos modelos en entornos donde predominan esquemas operativos rígidos, como es el caso de la asignación fija de clientes a rutas en el canal TaT. En este tipo de operaciones, la variabilidad en la demanda y las restricciones operativas generan desequilibrios en la carga de trabajo, subutilización de recursos y deterioro en el nivel de servicio, problemáticas que no son adecuadamente abordadas por modelos estáticos tradicionales.

En este sentido, la presente investigación se enmarca en la necesidad de cerrar esta brecha, proponiendo un modelo de ruteo optimizado que permita evolucionar desde un esquema rígido hacia un enfoque más flexible y adaptativo. De esta manera, se busca aportar no solo a la mejora operativa de la empresa objeto de estudio, sino también al desarrollo de soluciones aplicables a contextos similares dentro del sector de consumo masivo.

## **1.2. Descripción del problema.**

Enfocando el contexto en la operación de distribución secundaria o de última milla, para el canal TaT, cuando se requiere la creación de un nuevo cliente, el asesor comercial visita el punto, registra datos básicos de facturación junto con las coordenadas geográficas para la correspondiente visita de entrega.

Esta información es enviada en tiempo real al área de planeación logística, quien, con la ubicación del nuevo punto a visitar, crea el cliente en el sistema y lo ata a una ruta o frecuencia en el mismo sector, es decir ese cliente única y exclusivamente será atendido por el vehículo y la ruta asignada.

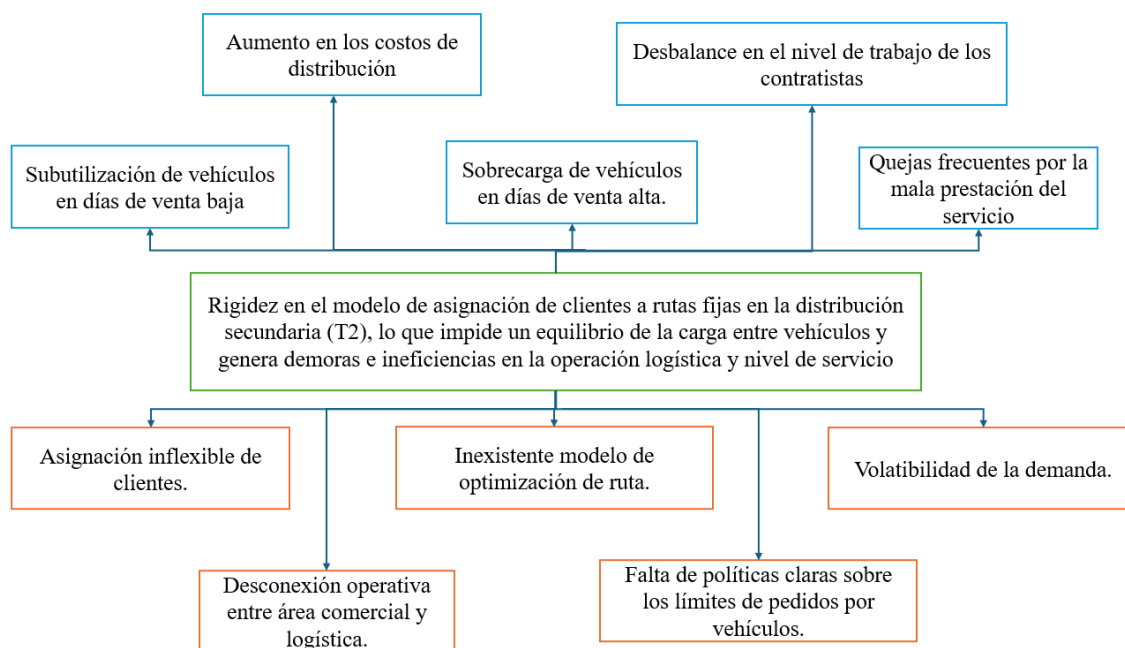
Como ejemplo, podemos decir que, en una zona o polígono de distribución compuesto por 200 clientes potenciales, es asignado a una ruta, para el ejemplo diremos que la B0155, teniendo en cuenta que el factor de efectividad de la fuerza de ventas en promedio según frecuencia es del 70%, podríamos concluir que la ruta atiende en su frecuencia un aproximado de 135 clientes. El problema radica en la volatilidad de la venta y la poca flexibilidad del modelo de distribución, cuando la venta baja el número de clientes se reduce drásticamente y como caso contrario puede presentar picos en momentos de impulso comercial, mientras que el costo de distribución se mantiene, es decir, el flete es el mismo de cara al conductor cuando el total de pedidos es de 30, al igual que cuando son 150.

Cuando hablamos del límite inferior del caso o de los días “Valle” el vehículo sale subutilizado, teniendo como resultado una afectación en los indicadores de costo/litro y nivel de rechazo, mientras que cuando supera su capacidad de entrega, el conductor excede los tiempos óptimos de conducción según SST, por la premura de las entregas

muchos clientes se quejan del servicio prestado e incluso se quedan pedidos sin entregar debido a que no es posible culminar el recorrido.

### 1.3. Árbol de Problema

**FIGURA 1 ÁRBOL DE PROBLEMAS**



**Fuente:** Elaboración propia

### 1.4. Pregunta de Investigación.

¿Cómo se puede mejorar el modelo de ruta fija en la operación de distribución (T2) para el canal TaT, de tal forma que permita el equilibrio de carga entre vehículos, mejorar la eficiencia operativa y aumentar el nivel de servicio al cliente?

### 1.5. Fundamentación del problema.

Daza, J. M., Montoya, J. R., & Narducci, F. (2009) señalan que:

Los métodos asignar primero y rutear después (clúster first, route second) procede en dos fases. Primero se busca generar grupos de clientes, también llamados clúster, que

estarían en una misma ruta en la solución final. Luego, para cada clúster se crea una ruta que visite a todos sus clientes. Las restricciones de capacidad se consideran en la primera etapa, asegurando que la demanda total de cada clúster no supere la capacidad del vehículo. Por lo tanto, construir las rutas para cada clúster es un TSP que, dependiendo de la cantidad de clientes en el clúster, se puede resolver en forma exacta o aproximada. El procedimiento se repite  $n$  veces, comenzando en cada ejecución por un cliente diferente a la forma en que se generan los clústeres; las rutas obtenidas no se superponen, lo que puede ser bueno en algunos casos.(pp.30-31).

Este enfoque refleja un orden lógico en el cual se cuenta primero con el total de clientes, para posteriormente asignar o diseñar una ruta que cubra esas visitas correspondientes, reflejando la problemática o la contradicción que se presenta cuando el modelo de ruteo es fijo, sin tener en cuenta inicialmente la cantidad de clientes a cubrir.

Según Mora Garcia L, (2014) una planificación adecuada en el transporte de carga permite optimizar tiempos y reducir costos operativos en la distribución, siempre que se consideren variables como la capacidad de carga, el tipo de vehículo y las condiciones de las rutas (p. 157).

Según dice (Giraldo,2019), como se citó en (Valdés, 2013);

Logró en su estudio mejorar la capacidad vehicular total de la flota y disminuir el consumo de combustible para generar un ahorro en los costos logísticos, mediante la implementación de un sistema dinámico de ruteo a partir de la medición de las distancias, teniendo en cuenta variables como las restricciones de tránsito, las ubicaciones geográficas y los clientes ubicados por zonas; en su investigación se utilizó el aplicativo móvil para la captura de pedidos los cuales se integran con SAP, para la creación de entregas por zona según la división geográfica de la ciudad y los clientes, finalmente se utilizó la aplicación Smart Quick la cual ejecuta la georreferenciación, validación de pedido

y orden de entrega de forma óptima, estas órdenes se vuelven a integrar con SAP, generando los documentos de transporte, posterior a ello se hace el proceso de separación y alistamiento y finalmente la facturación para que proceda al reparto.

(Valdes,2013) también en su trabajo resalta;

Dada la dinámica comercial derivada de la competitividad, los procesos de expansión se han considerado necesarios en este tipo de distribución, dando prioridad a la gestión del transporte y enfatizando en la importancia de un adecuado diseño y programación de rutas vehiculares que posibiliten satisfacer una mayor demanda, ya que al realizar un inadecuado diseño de rutas perjudica a la empresa distribuidora, generando como consecuencia una deficiente operación y funcionamiento de los vehículos, mayores costos de operación, deficiente asignación del personal y bajos niveles de satisfacción en el servicio prestado.

La gestión eficiente de los recursos es un factor vital para cualquier empresa de transporte y distribución. El tiempo, el combustible y la mano de obra desperdiciada en mover un camión vacío pueden afectar gravemente a los informes comerciales de una empresa y también genera un impacto potente en términos medioambientales. ¿Qué hace la industria para enfrentar el síndrome del camión vacío? Las empresas están enfocadas en reducir los efectos negativos de su operación, asumiendo compromisos y responsabilidad y, en ese sentido, dejar de transportar “aire” puede ser una significativa acción para tomar. El transportar aire significa a grandes rasgos viajar con el camión con capacidad ociosa, no aprovechando el volumen del vehículo; transformándose en un problema silencioso a nivel de industria por los costos que esto significa en términos económicos, de productividad y de eficiencia. *(Transportar aire: el silencioso problema del transporte y distribución, 2023)*

## **1.6. Determinación del Alcance del Problema**

La presente investigación se enfocará en analizar la rigidez del modelo de rutas fijas en el proceso de distribución secundaria (T2), dentro del canal de TaT. El estudio abordará cómo esta estructura afecta el equilibrio de carga entre vehículos, los tiempos de entrega, nivel de rechazo y los niveles de servicio al cliente, considerando variables como la capacidad operativa de los vehículos, la volatilidad en la demanda y la eficiencia logística. Se analizará la ejecución de entregas, sin incluir la gestión comercial previa a la venta. Este proyecto espera analizar y proponer las posibles alternativas de mejora en el modelo de ruteo fijo que se tiene actualmente, buscando eficiencias operativas y financieras para la compañía.

## **1.7. Objetivos**

### **1.7.1. *Objetivo general***

Desarrollar y evaluar un Modelo de Ruteo Optimizado para la operación de distribución secundaria (T2) en el canal TaT, con el propósito de equilibrar la carga entre vehículos, mejorar significativamente la eficiencia operativa e incrementar el nivel de servicio al cliente.

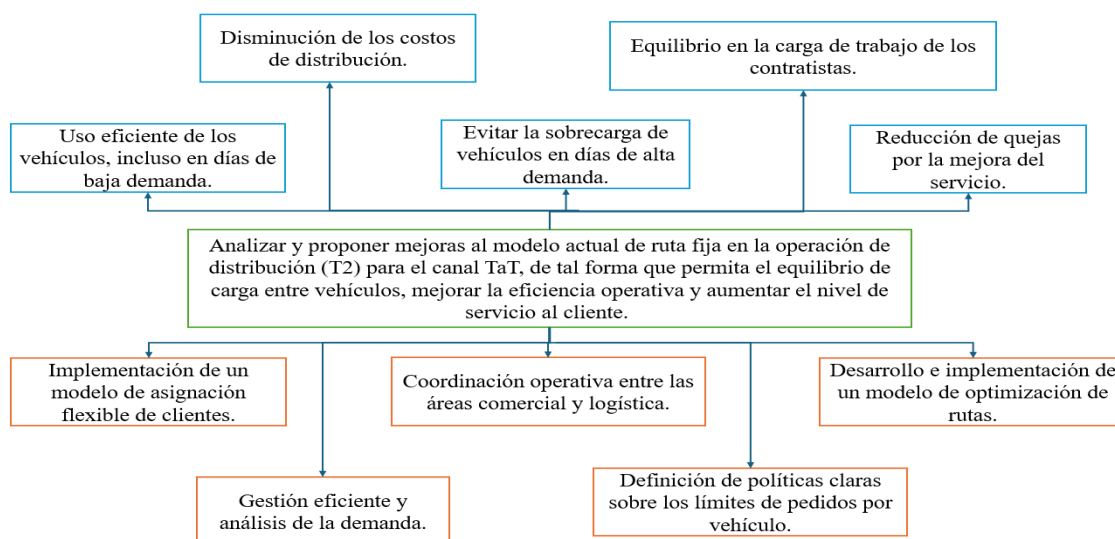
### **1.7.2. *Objetivos Específicos***

- Diagnosticar el funcionamiento actual del modelo de ruteo fijo en la distribución secundaria para canal TaT, identificando las limitaciones y las causas del desequilibrio de carga y la afectación del nivel de servicio.
- Identificar los requisitos técnicos y operativos necesarios para la implementación de un Modelo de Ruteo Optimizado que soporte la redistribución dinámica o semi dinámica de clientes y pedidos entre rutas.

- Diseñar y formalizar el Modelo de Ruteo Optimizado, integrando herramientas de diagnóstico de demanda y políticas de capacidad vehicular, con el fin de generar flexibilidad en la asignación de pedidos y balancear la carga entre vehículos y equilibrar el nivel de trabajo de la tripulación.
- Evaluar el impacto operativo y financiero del Modelo de Ruteo Optimizado frente al sistema actual, mediante simulaciones o estudios de caso que consideren distintos escenarios de demanda, para justificar la implementación

### 1.8. Árbol de objetivos

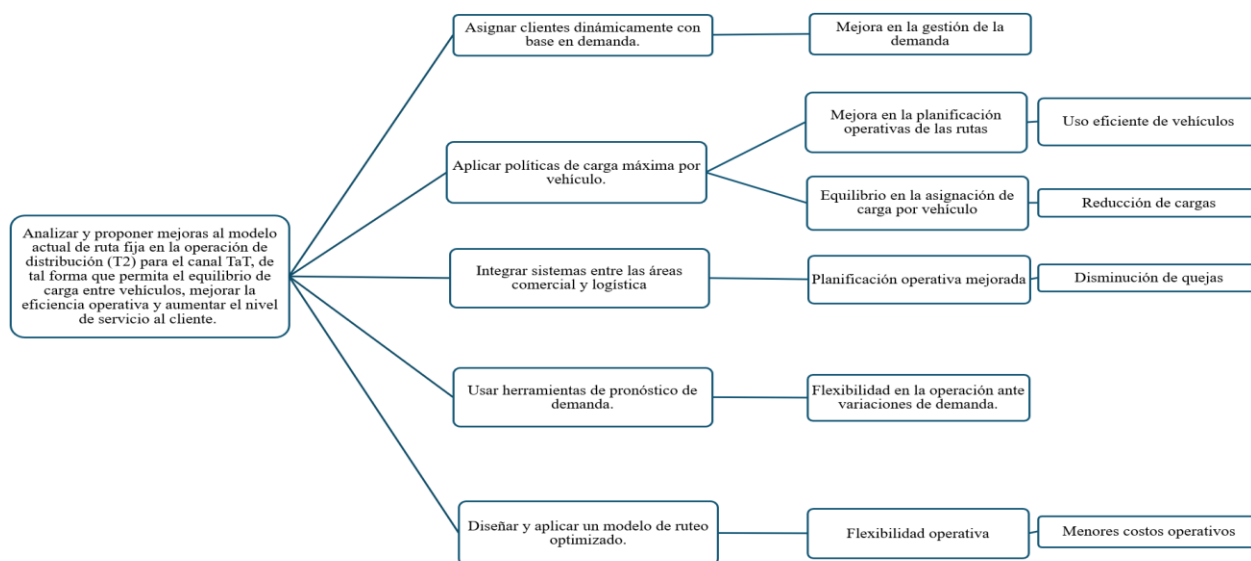
FIGURA 2 ÁRBOL DE OBJETIVOS



Fuente: Elaboración propia

## 1.9. Árbol de alternativas

FIGURA 3 ÁRBOL DE ALTERNATIVAS



Fuente: Elaboración propia

## 1.10. Identificación y evaluación de alternativas

### 1.10.1. Descripción de alternativas

**Asignar clientes dinámicamente con base en la demanda:** Consiste en que el sistema de planificación identifique diariamente qué clientes realizaron pedido y, sin importar a qué ruta pertenecían históricamente, los agrupe en clústeres optimizados según el volumen del día.

#### **Integrar sistemas entre las áreas comercial, logística y marketing:**

Implementar una plataforma de información compartida (como un ERP o una torre de control) donde Marketing notifique promociones, Comercial reporte proyecciones de venta y Logística ajuste la capacidad de flota con antelación.

**Diseñar y aplicar un modelo de ruteo optimizado:** Desarrollo o adquisición de un algoritmo de ruteo (basado en el Problema de Ruteo de Vehículos o VRP) que

considere restricciones reales: ventanas horarias de las tiendas, capacidades de carga de los camiones, sentidos viales y tiempos de descarga.

**Aplicar políticas de carga máxima por vehículo:** Establecer una normativa operativa donde ningún vehículo de la flota secundaria pueda iniciar ruta si no cumple con un porcentaje mínimo de utilización de su capacidad (ej. 90% de ocupación). Si la demanda es baja, se consolidan rutas.

**Usar herramientas de pronóstico de demanda:** Implementar modelos estadísticos que analicen el histórico de ventas para predecir cuánto y cuándo pedirán los clientes de cada zona.

#### **1.10.2. Criterios de selección:**

**Eficiencia:** Mide la capacidad de la alternativa para optimizar el uso de los recursos de transporte (vehículos, combustible y tiempo) en relación con el volumen de producto entregado.

**Facilidad:** Evalúa el grado de viabilidad operativa y administrativa para implementar la solución.

**Costo:** Representa el impacto financiero derivado de la puesta en marcha de la alternativa.

**Cliente:** Mide el impacto de la alternativa en el nivel de servicio y la experiencia del tendero.

**Flexibilidad:** Evalúa la capacidad del modelo propuesto para adaptarse rápidamente a las fluctuaciones e incertidumbres de la demanda, cambios en el entorno vial o pedidos de último momento.

**TABLA 1 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS**

| <b>Alternativa</b>                                                  | <b>Eficiencia</b> | <b>Facilidad</b> | <b>Costo</b> | <b>Cliente</b> | <b>Flexibilidad</b> | <b>Total</b> |
|---------------------------------------------------------------------|-------------------|------------------|--------------|----------------|---------------------|--------------|
| Asignar clientes dinámicamente con base en la demanda.              | 4                 | 3                | 3            | 4              | 5                   | <b>19</b>    |
| Integrar sistemas entre las áreas comercial, logística y marketing. | 4                 | 2                | 4            | 5              | 4                   | <b>19</b>    |
| Diseñar y aplicar un modelo de ruteo optimizado.                    | 5                 | 3                | 2            | 5              | 5                   | <b>20</b>    |
| Aplicar políticas de carga máxima por vehículo.                     | 3                 | 4                | 5            | 3              | 2                   | <b>17</b>    |
| Usar herramientas de pronóstico de demanda.                         | 4                 | 4                | 2            | 4              | 5                   | <b>19</b>    |

**Fuente:** Elaboración propia

### **1.11. Selección de alternativa y justificación de la propuesta de proyecto**

Tras un análisis comparativo de distintas opciones, se determinó que la alternativa con mayor puntaje global en criterios de eficiencia, costo, flexibilidad y beneficio al cliente es el diseñar y evaluar un modelo de ruteo optimizado, esto evolucionando las diferentes etapas de los procesos de despacho de la compañía.

Esta alternativa permitirá: Aumentar la eficiencia en la planificación de las rutas, mejorar los niveles de ocupación de los vehículos y flexibilizar la operación logística.

Un modelo de ruteo dinámico permitirá planificar las rutas según límites de clientes, volúmenes y jornada laboral, lo que a su vez reflejará los tiempos de entrega y se aprovecharán mejor los recursos disponibles, optimizando el uso de la flota y minimizando los recorridos.

El modelo propuesto facilita la adaptación de la operación a las diferentes variables de la demanda, flexibilidad frente a los rangos horarios de entrega y permitirá unos tiempos más cortos de reacción frente a imprevistos que puedan afectar la continuidad de la operación o la calidad del servicio.

Por estas razones, el diseño y evaluación de un modelo de ruteo optimizado constituye la alternativa más adecuada para mejorar integralmente la gestión de despachos de la compañía, alineándose con los objetivos estratégicos de eficiencia, reducción de costos, flexibilidad y excelencia en el servicio al cliente.

## **2. Justificación del proyecto**

La rigidez o poca flexibilidad del modelo de rutas fijas que se utiliza para la operación de distribución (T2) para el canal de TaT en la empresa de lácteos presenta bastantes ineficiencias a nivel operativo, dentro de los de mayor impacto tenemos el desequilibrio de cargas entre vehículos, tiempos excesivamente largos en la ejecución de las rutas lo que a su vez conlleva a una drástica disminución del nivel de servicio entre otros. Este consolidado de novedades repercute directamente en la sostenibilidad de la operación, la gestión de costos y demás indicadores financieros, y la satisfacción de cliente que fácilmente podría derivar en una pérdida de participación en el mercado lácteo que es fuertemente competido, al tratarse de un producto de primera necesidad, la demanda es constante y al no llegar a tiempo a los puntos, el consumidor preferirá otras marcas.

La fluctuación de la venta y el modelo de ruta fija ocasiona que cuando se tienen días valle, los vehículos operen subutilizados, lo que afecta directamente a uno de los indicadores más importantes como lo es el Costo por Litro movilizado, caso contrario cuando se tienen picos de venta, los vehículos son despachados al máximo de su

capacidad en peso, incluso a veces teniendo que generar recargues o relevos para poder cumplir con las entregas programadas. Adicionalmente, el uso ineficiente de esta flota contribuye al aumento de emisiones de gases de efecto invernadero lo que representa un desafío ambiental en un contexto donde la sostenibilidad es una prioridad para las empresas modernas y su reputación está directamente implicada.

Entender y abordar estas novedades desde la problemática descrita es de vital importancia para buscar la optimización de la operación, la obtención de sinergias financieras y mejorar la experiencia del cliente con nuestros contratistas, de tal forma que la compañía pueda utilizar su operación de distribución como una ventaja competitiva sostenible en el tiempo y pueda ser referente en el mercado de consumo masivo de productos lácteos.

Este proyecto busca estudiar, analizar y proponer mejoras en el modelo actual de rutas fijas que tiene la compañía, buscando darle un enfoque más flexible que permita equilibrar la carga entre los vehículos, equilibrar los tiempos en ruta de la tripulación y mejorar los niveles del servicio al cliente, todo esto con sus indicadores correspondientes.

El proyecto está alineado con los objetivos estratégicos de la compañía que busca eficiencias en su cadena de valor y garantizar una experiencia del nivel más alto para los clientes, fortaleciendo la lealtad en el canal y consolidando su posición de líder en el mercado de leches.

En el ámbito social esta iniciativa espera plantear una base de optimización que reduzca el consumo de combustible y la emisión de gases de efecto invernadero para la operación de distribución.

En el ámbito académico la investigación aportará a la literatura sobre gerencia logística, gerencia de la red de suministro, gerencia de transporte y afines a todo lo relacionado con la optimización de operaciones logísticas de distribución, con un contexto para compañías en el sector de consumo masivo o que por las características de su operación cuenten con rutas fijas o busquen realizar una transición a un modelo diferente de ruteo, ya sea dinámico o semi dinámico. Los hallazgos basados en diagnóstico y propuesta que se realice podrán servir como referencia o precedente para futuros estudios enriqueciendo la literatura sobre logística distribución o redes de suministro.

En el ámbito empresarial la propuesta de mejora podrá ser estudiada directamente por la empresa de lácteos para que puedan evaluar su viabilidad total o parcial, lo que tendría un impacto directo en su operación y sus indicadores. De igual forma, la metodología desarrollada podrá ser adaptada por otras organizaciones que busquen mejorar la eficiencia de sus operaciones logísticas, promoviendo prácticas más sostenibles y competitivas en la industria.

En resumen, este proyecto no solo busca abordar un problema específico de una compañía, sino que también genera varios impactos positivos en diferentes escenarios, abarcando una visión holística de los posibles beneficios y las diferentes maneras de apalancamiento que puede significar.

### 3. Estado del arte

#### **Mejorar el Proceso de distribución en una empresa de transporte.**

El estudio de Zapata-Cortés et al. (2020) aborda la optimización del ruteo de vehículos en una empresa de paquetería en Medellín, utilizaron un modelo de ruteo de vehículos con flota heterogénea (HVRP) que dio derivo en la reducción de sus costos hasta en un 53% y el número de vehículos en flota en un 50% según sus resultados. Este trabajo sustenta la teoría de las optimizaciones que se pueden lograr utilizando un modelo flexible para asignar rutas según la capacidad de los vehículos y la demanda de los clientes, un desafío similar al que actualmente se enfrenta la empresa con la rigidez del modelo de rutas fijas. La aplicación de un modelo HVRP o similar podría inspirar una solución para redistribuir dinámicamente los pedidos, equilibrando la carga entre los vehículos y optimizando la operación. (Zapata Cortés et al.2020).

#### **Optimización de las rutas de entrega de mercancías: el dilema de tiempo-distancia.**

El estudio de Combes et al. (2024) propone un nuevo enfoque para optimizar rutas de entrega, normalmente solo se tiene en cuenta a la ruta optima, pero esta vez se añadió la segunda variable de tiempo, todo esto en función de los costos, lo que se vuelve relevante en contextos urbanos actuales con tráfico y congestión vehicular. Este enfoque es relevante para la investigación ya que las rutas fijas enfrentan retos por la variabilidad en los tiempos de entrega debido al tráfico actual de las ciudades, al tener en cuenta el valor del tiempo en la planificación de rutas podría permitir una mejoraría en la puntualidad de las entregas, la satisfacción de los clientes y las jornadas de la tripulación de entrega. (Combes et al. 2024).

### **Revisión del enrutamiento dinámico estocástico de vehículos en el cambiante entorno logístico urbano.**

Este artículo de Mardesic et al. (2024) estudia el problema de ruteo dinámico de vehículos en la logística urbana, resaltando la necesidad de modelos proactivos que pueda proyectar novedades antes de que sucedan, como la proyección de la demanda y los tiempos de viaje variables y de esa forma optimizar las rutas en tiempo real. Las técnicas basadas en procesos de decisión de Markov y aprendizaje las cuales se proponen en el artículo podrían inspirar un modelo dinámico que ajuste rutas y asigne pedidos en función de la demanda, todo esto en tiempo real, equilibrando la carga entre vehículos y mejorando el cumplimiento de las mallas de entrega, lo que aumentaría el nivel de servicio al cliente y brindaría una eficiencia operativa considerable (Mardesic et al. 2024).

### **Algoritmo de optimización para secuenciación adaptativa de rutas reales en entregas de última milla.**

Hernández et al. (2024) desarrollan un enfoque para la optimizar rutas de última milla o de operación de distribución, mediante matrices que tienen variables como el tiempo y las distancias entre las distintas paradas. Este enfoque es relevante debido al detalle que se le da a la operación de última milla, y resalta las limitantes que se tiene con el modelo de ruta fija que no permite tener en cuentas muchas otras variables de optimización. La metodología propuesta podría aplicarse para diseñar rutas adaptativas que optimicen la asignación de vehículos según la ubicación y demanda de las tiendas o puntos a entregar. (Hernández et al. 2024).

### **Impacto de un modelo de ruteo inteligente sobre los tiempos de distribución urbana de mercancías en la última milla.**

De acuerdo con Meneses & Vidal, 2022, en esta línea, para incrementar la productividad de los vehículos se ha trabajado en la planificación de rutas como una de las actividades que interviene en la logística de transporte, dicho proceso conecta a las empresas con sus clientes y consumidores finales. Como consecuencia, la experiencia del servicio queda dependiendo de las operaciones y de los resultados, medidos por indicadores como el cumplimiento de los tiempos durante el proceso, la disponibilidad de herramientas de seguimiento y la conectividad en la ruta, sin embargo, se deja por fuera el análisis del contexto con elementos como el histórico de la congestión de áreas de cubrimiento o las relaciones colaborativas entre los individuos que intervienen en la actividad (proveedor y cliente), por mencionar algunos, dando esta brecha una oportunidad para explorar el análisis desde otras perspectivas. Con los resultados de este proyecto, podemos tener referencia del impacto sustancial y positivo sobre los tiempos de distribución urbana de mercancías en la última milla y sobre los costos asociados a la operación. Con la elaboración del modelo se llegó a constatar cómo la planificación eficiente de rutas resuelve los problemas de capacidad, de la infraestructura y de la conectividad presentes en la distribución urbana.

### **Mejora del proceso de distribución en una empresa de transporte.**

A partir de lo presentado en el artículo, se resalta la importancia de la gestión del transporte como un elemento crítico en la competitividad de las empresas, ya que este es factor de la generación de una porción importante de los costos logísticos que, en últimas, repercute en el precio de los productos. Es de gran importancia para las empresas desarrollar herramientas y proponer mecanismos que permitan desarrollar planes de transporte eficientes, logrando reducir costos, satisfacer las necesidades de los clientes y mitigar los impactos negativos que el transporte puede generar a la sociedad y el ambiente. Este trabajo permite

analizar el ruteo de vehículos con el objetivo de reducir las distancias recorridas por parte de los vehículos, reduciendo así los costos totales del transporte para la empresa. A través de métodos simples que incluyen procedimientos heurísticos de fácil entendimiento, hasta procedimientos complejos que requieren de herramientas de inteligencias artificial y técnicas metaheurísticas para su solución. Esto depende de la robustez del modelo de ruteo a utilizar, ya que entre más variables y condiciones reales del proceso de distribución se incluyan, mayor será su grado de complejidad, tanto para la formulación como para la solución (Arango-Serna, Zapata-Cortés, & Romano, 2015).

### **Optimización y trazabilidad de rutas en el proceso de distribución de la cadena logística de Correos de Cuba.**

Hernández Blanco González et al. (2024) en su documento desarrollan un sistema para optimizar rutas de distribución de Correos de Cuba, integrando algoritmos VRP, tecnologías GPS y programación en Python. Este sistema abarca problemas logísticos comunes como lo son las demoras en entregas y falta de visibilidad de la operación en tiempo real, lograron mejorar la eficiencia operativa en un 20% y obtener una trazabilidad en tiempo real en entornos urbanos y rurales ofrecen una solución práctica para mejorar el servicio al cliente y la eficiencia en la distribución de última milla.

### **Logistics path optimization based on cognitive psychology and consumers' psychological preference of wait time.**

Li (2020) nos propone un modelo de colonia de hormigas que buscar optimizar las rutas logísticas teniendo en cuenta las preferencias psicológicas de los consumidores con respecto al tiempo ideal de espera, utilizando principios de psicología cognitiva para priorizar la satisfacción del cliente. Este modelo es relevante para nuestra investigación de rutas dinámico, debido al enfoque que se le da al nivel de servicio y los tiempos en los que

los clientes esperan sus pedidos, siendo estos cada vez más exigentes. Su validación mediante simulación demuestra su aplicabilidad en entornos logísticos complejos, apoyando la eficiencia operativa.

### **Optimización de las rutas de reparto de helado de la empresa Fricongelados Citlaltépetl.**

El documento utiliza una simulación en el Software ProModel y un modelo de agente viajero para la optimización de la operación de distribución de Fricongelados Citlaltépetl, lograron reducir un 30% en distancias recorridas y un 60% los costos operativos al combinar la optimización de rutas con una selección diferente de vehículos (flota), este documento resalta no solo la relevancia de la optimización de la ruta sino las posibilidades de combinatoria con factores como los tipos de vehículos. La validación estadística y el uso de datos reales refuerzan la aplicabilidad de la simulación para mejorar la eficiencia operativa y el servicio al cliente en entornos logísticos similares.

### **Optimización de rutas logísticas en empresa comercializadora de tortillas.**

El estudio se presentó en las Memorias del Congreso Internacional de Investigación Academia Journals (2017) en donde nos habla de la implementación del software ActiRuta de Inelcan, con el fin de optimizar las rutas de distribución mediante telemetría y comunicaciones móviles, logrando una reducción del 50.6% la distancia recorrida pasando de 598 km a 303 km. La validación en un caso real sugiere que tecnologías similares podrían mejorar la eficiencia operativa y el servicio al cliente en la distribución secundaria de la empresa de lácteos (Memorias del Congreso Internacional de Investigación Academia Journals, 2017).

## **Propuesta de un algoritmo dinámico para el problema de mantenimiento y ruteo de vehículos con ventanas de tiempo**

López-Ayala et al., 2021, nos habla en su artículo sobre la optimización y la planificación de los mantenimientos y ruteo dinámico de la flota y sus técnicos, el estudio propone un algoritmo dinámico de dos fases para minimizar costos de mantenimiento preventivo y correctivo, junto con el ruteo de técnicos, reduciendo tiempos y brechas de desempeño inferiores, este modelo nos muestra la importancia de la optimización dinámica de los recursos, aplicado a un ámbito de mantenimiento pero que de igual forma es aplicable a un modelo netamente logístico como el de la empresa.

### **4. Marco metodológico**

#### **4.1. Enfoque de la investigación**

El presente estudio se realizará adoptando un enfoque investigativo mixto, que combina métodos cuantitativos y cualitativos para abordar el problema y diseñar la propuesta de mejora para la compañía.

Cuantitativamente se analizarán los datos como los pronósticos actuales de ventas, la capacidad de carga de los vehículos, el porcentaje de recompra promedio por ruta, la cantidad de entregas efectivas en una jornada laboral estándar y demás indicadores operativos de la ruta y la flota que las componen. Se evaluará el impacto de la variabilidad de la demanda en la operación de distribución permitiendo identificar las oportunidades de mejora relacionadas y la optimización logística correspondiente.

Como complemento, el componente cualitativo buscará explorar las mejoras implícitas en la calidad del trabajo de los transportadores, la satisfacción y el servicio al cliente entre otros factores involucrados en la operación de distribución. Esto se logrará mediante la recopilación

de experiencias y opiniones de los involucrados para enriquecer la propuesta de mejora que contribuya a la captura de eficiencias.

La elección de un enfoque mixto se justifica por la naturaleza del problema de investigación, que no solo implica optimizaciones técnicas y financieras, sino también impactos sociales y ambientales en la operación logística. Este enfoque es coherente con los objetivos del estudio, ya que permite diagnosticar limitaciones operativas a través de datos históricos y variables cuantificables, mientras que la integración de elementos cualitativos facilita el diseño de una propuesta flexible que considere la realidad humana y contextual de la empresa.

#### **4.2. Tipo de estudio**

El estudio toma un diseño de investigación explicativo y descriptivo, que combina elementos cuantitativos y cualitativos para analizar el problema. Este tipo de estudio busca describir las características y limitaciones del modelo actual de ruteo y también explicar cómo la implementación de un modelo de ruteo optimizado puede mejorar la operación logística, equilibrar la carga entre vehículos y mejorar el nivel de servicio al cliente.

Desde la perspectiva descriptiva, el estudio detallará el funcionamiento actual del modelo de rutas fijas mediante el análisis de datos históricos, como los volúmenes de venta, la capacidad de los vehículos, los tiempos de entrega y los indicadores operativos. Esta descripción permitirá identificar patrones de variabilidad en la demanda y sus impactos en la eficiencia logística. Desde el enfoque explicativo, se investigarán las causas de las ineficiencias operativas, como el desequilibrio de carga y las demoras, y se evaluará cómo las herramientas de pronóstico de demanda pueden mitigar estos problemas al permitir una asignación más dinámica de rutas.

La elección de este tipo de estudio se justifica por la necesidad de generar una comprensión general y total del problema, combinando datos objetivos con perspectivas subjetivas para proponer una solución implementable y sostenible en el tiempo.

#### **4.3. Métodos de recolección de datos y técnicas e instrumentos de recolección**

A continuación, se presentan los métodos y técnicas utilizados para la recolección de información necesaria para el desarrollo del proyecto. Cada método incluye su descripción, justificación, ventajas y principales limitaciones.

**Análisis de Bases de Datos Históricas:** Se recopilarán y analizarán datos históricos relacionados con las cargas generadas en la operación de distribución. Este método hace parte del componente cuantitativo del estudio, proporciona una base para diagnosticar las limitaciones del modelo actual de rutas fijas y evaluar la volatilidad de la demanda. Ofrece información precisa, medible y representativa de la operación real, facilitando el análisis. La calidad de los datos depende de la actualización de los registros de la empresa. Puede haber datos incompletos o no estandarizados que requieran limpieza previa

**Recolección de Causas de Rechazo e Inconformidades Reportadas por Clientes:** Se recopilarán reportes de inconformidades y rechazos de entregas registrados por las clientes asociadas a las causas relacionadas al estudio. Este método nos permitirá evaluar el nivel de servicio al cliente. Proporciona información directa sobre la experiencia del cliente, lo que ayuda a priorizar mejoras operativas. Los datos pueden estar sesgados si los clientes no reportan todas las inconformidades o si los registros no son completos

**Entrevistas:** Se realizarán entrevistas a un grupo representativo de transportadores y personal operativo/administrativo involucrado en la planeación y ejecución de la operación. Este método cualitativo es esencial para capturar las experiencias y perspectivas,

complementando los datos cuantitativos con información sobre el impacto humano de la operación. Ofrecen una comprensión y contextual de los problemas operativos desde la perspectiva de quienes ejecutan las rutas. La subjetividad de las respuestas puede introducir sesgos, y la selección de participantes debe ser cuidadosa para garantizar representatividad

**Encuestas:** Se diseñarán y aplicarán encuestas con preguntas cerradas y abiertas dirigidas a transportadores y personal operativo/administrativo. Las encuestas complementan las entrevistas al permitir la recolección de datos de un grupo más amplio, facilitando el análisis cuantitativo y cualitativo. Permiten recopilar datos de manera eficiente de una muestra más grande, combinando respuestas cuantitativas y cualitativas para un análisis robusto. La tasa de respuesta puede ser baja, y el diseño de las preguntas debe ser preciso para evitar ambigüedades o sesgos.

#### **4.4. Plan de análisis de datos**

Los datos históricos de cargas generadas y los reportes de inconformidades de clientes serán extraídos de los sistemas internos de la empresa, estos datos se organizarán en una base de datos estructurada, utilizando hojas de cálculo en Microsoft Excel. Se realizarán procesos de limpieza de datos para identificar y corregir valores faltantes, inconsistencias o duplicados. Los datos se segmentarán por períodos (mensual, semanal, diario) y por zonas geográficas o rutas específicas para identificar patrones de variabilidad en la demanda.

Las entrevistas y las respuestas abiertas de las encuestas serán transcritas textualmente y organizadas en un repositorio digital (por ejemplo, en documentos de Word). Los reportes de inconformidades también se categorizarán según el tipo de problema para facilitar el análisis cualitativo.

Los pasos que se seguirán para el análisis de datos:

**Recolección:** Extraer datos históricos de los sistemas de la empresa de lácteos, recopilar reportes de inconformidades, realizar entrevistas y aplicar encuestas.

**Limpieza y Organización:** Estandarizar y limpiar los datos cuantitativos en Excel.

**Análisis Cuantitativo:** Aplicar análisis descriptivo, de variabilidad y correlacional en Excel.

**Análisis Cualitativo:** Codificar y categorizar los datos, identificando temas relevantes y relacionándolos con los objetivos del estudio.

**Integración:** Triangular los resultados cuantitativos y cualitativos para generar conclusiones integrales.

**Interpretación:** Elaborar un informe que vincule los hallazgos con la propuesta de mejora y evalúe su impacto operativo y financiero.

## 5. Marco teórico

El desarrollo de una estrategia de optimización para la distribución secundaria en el canal TaT requiere de una base conceptual sólida que permita alinear los objetivos operativos con las mejores prácticas de la gerencia logística. A continuación, se presenta el marco teórico que sustenta esta investigación, definiendo los pilares fundamentales que intervienen en la cadena de suministro de productos lácteos. Este apartado tiene como propósito unificar el lenguaje técnico y facilitar la comprensión integral de las herramientas, modelos de ruteo y métricas de desempeño que serán aplicados para mejorar la eficiencia del costo por litro movilizado y garantizar la competitividad de la operación en un entorno de demanda variable.

**Gestión de la Cadena de Suministro (Supply Chain Management):** Es el conjunto de procesos que permiten que un producto llegue desde el productor hasta el consumidor final. En este proyecto, se enfoca en la coordinación de flujos de información y mercancías para que la

leche y sus derivados estén disponibles en el momento justo, evitando desperdicios por vencimiento o falta de stock.

**Distribución Secundaria (T2):** En logística, la distribución se divide en etapas. La T2 es el trayecto que recorre el producto desde un Centro de Distribución (CEDI) local hasta el punto de venta final. Es la etapa más crítica porque los vehículos son más pequeños, las paradas son constantes y los costos operativos por kilómetro suelen ser los más altos de toda la cadena.

**Canal TaT:** Es un modelo de comercialización donde el fabricante vende y entrega directamente a pequeños comercios de barrio (tiendas, panaderías, minimercados). Se caracteriza por pedidos de bajo volumen, pero de alta frecuencia, lo que exige una planificación de rutas muy precisa para que el transporte no sea más caro que la ganancia del producto.

**Ruteo de Vehículos (VRP - Vehicle Routing Problem):** Es un concepto matemático y logístico que busca determinar la mejor ruta para una flota de vehículos que debe visitar a un conjunto de clientes. El objetivo es "resolver el rompecabezas" de cómo pasar por todos los puntos usando la menor cantidad de combustible y tiempo posible, respetando la capacidad de carga del camión.

### **Modelo de Ruteo Dinámico vs. Estático**

**Ruteo Estático (Fijo):** Son rutas que no cambian; el conductor visita a los mismos clientes en los mismos días, sin importar si pidieron mucho o poco. Es fácil de administrar, pero genera ineficiencia cuando la demanda cae.

**Ruteo Dinámico:** Las rutas se recalculan diariamente basándose solo en los pedidos reales del día. Es como un "GPS inteligente" que optimiza el camino cada mañana para que el camión siempre vaya lleno y recorra la menor distancia.

**Costo por Litro Movilizado:** Es el indicador estrella de este proyecto. Se obtiene dividiendo todo lo que cuesta operar el camión (combustible, salario del conductor, mantenimiento) entre la cantidad de litros de producto entregados. Si el camión va a la mitad de su capacidad, el costo por litro se duplica, afectando la rentabilidad de la empresa.

**Ventanas de Entrega:** Son los rangos de horario específicos en los que un cliente (el tendero) puede recibir la mercancía. Por ejemplo, "solo de 8:00 AM a 10:00 AM". Ignorar estas ventanas genera "reprocesos" (tener que volver más tarde), lo que dispara los costos logísticos.

**Nivel de Servicio (OTIF - On Time In Full):** Es una métrica de calidad que mide si entregamos el pedido a tiempo (On Time) y completo (In Full). En el sector lácteo es vital, pues si el producto no llega, el tendero le compra a la competencia y el cliente final no encuentra el producto fresco.

**Pronóstico de la Demanda (Demand Forecasting):** Es el uso de datos históricos de ventas para predecir cuánto producto se va a vender en el futuro. Permite que el área de logística sepa cuántos camiones necesitará la próxima semana, evitando contratar transporte de sobra o quedarse corto de espacio.

**TMS (Transport Management System):** El TMS es, en palabras sencillas, el "cerebro digital" de la logística de transporte. Es un software especializado diseñado para planificar, ejecutar y optimizar el movimiento físico de las mercancías.

**Distribución de "Última Milla" (Last Mile):** Es el paso final de la cadena antes de que el producto llegue a las manos del consumidor.

## 6. Validación del modelo por medio de simulación

### 6.1. Formulación del modelo optimizado

Para dar cumplimiento al diseño conceptual propuesto y trascender de una formulación meramente teórica, se desarrolla un modelo matemático de optimización que permite evaluar cuantitativamente el impacto de la flexibilización de rutas en la distribución secundaria (T2). En este sentido, el problema se formula bajo el enfoque del Problema de Ruteo de Vehículos con Ventanas de Tiempo y Demanda Variable (VRPTW-DV), incorporando restricciones operativas y condiciones reales del proceso logístico, con el fin de analizar el desempeño del modelo en términos de eficiencia, utilización de recursos y nivel de servicio.

#### 6.1.1. Algoritmo de ejecución de la simulación

El proceso de simulación siguió una secuencia de cinco pasos para ambos escenarios.

- **Consolidación de la Demanda:** Se procesó una base de demanda diaria proyectada para los 30 nodos de la zona de estudio.
- **Modelación del Escenario Base (Rutas Fijas):** Se aplicó la lógica de zonificación geográfica actual. Se asignaron los pedidos a los vehículos según su zona predefinida, calculando la distancia total mediante la suma de trayectos fijos y evaluando la subutilización o sobrecarga resultante.
- **Modelación del Escenario Optimizado (Rutas Flexibles):** Se aplicó un algoritmo de agrupación (*Clustering*) basado en la proximidad geográfica de los pedidos activos del día. Se utilizó la técnica de Barrido y Ahorro para determinar la secuencia de visitas, priorizando el llenado de los vehículos hasta el 95% de su capacidad antes de activar una segunda ruta.

- **Cálculo de KPI Cuantitativos:** A través de fórmulas en Excel, se determinaron automáticamente los Kilómetros Totales, el Costo Operativo Total (basado en el costo por km) y el Costo por Litro Movilizado (Costo Total / Litros Totales).
- **Análisis Comparativo:** Se cruzaron los resultados de ambos modelos para extraer la variación porcentual en eficiencia y costo.

### 6.1.2. Conjunto de Índices

- **N:** Conjunto de todos los nodos de la red, donde  $i, j$ , pertenecen a  $N$ . El índice 0 representa el Centro de Distribución (CEDI) y los índices  $\{1, 2, \dots, n\}$  representan las tiendas del canal TaT.
- **V:** Conjunto de vehículos homogéneos disponibles de la flota secundaria, denominados por  $k$  los cuales pertenecen a  $V$  que es el total de flota disponible.

### 6.1.3. Parámetros del sistema

- **$C_{ij}$ :** Costo de transporte por distancia o distancia en kilómetros entre el nodo  $i$  y el nodo  $j$ .
- **$d_i$ :** Demanda de producto en litros del cliente  $i$  (variable según el día del pedido).
- **$Q_k$ :** Capacidad máxima de carga en litros del vehículo  $k$ .
- **$T$ :** Tiempo máximo de la jornada laboral legal permitida para el vehículo  $k$  (incluye tiempos de tránsito, tiempo de alistamiento, tiempos de servicio y descarga en tienda).
- **$t_{ij}$ :** Tiempo de viaje entre el nodo  $i$  y el nodo  $j$ .
- **$s_i$ :** Tiempo de servicio o descarga en el punto del cliente  $i$ .

#### 6.1.4. Variables de decisión

- $x_{ijk}$ : Variable binaria que toma el valor de 1 si el vehículo  $k$  viaja directamente desde el nodo  $i$  al nodo  $j$ , y 0 en caso contrario, determina la secuencia de visita, asignando una lista de 1 a los puntos en secuencia a visitar.
- $u_{ik}$ : Variable continua que representa la secuencia de carga acumulada o llegada al nodo para evitar reinicios o recorridos reiterativos, cada siguiente punto en la numeración deberá ser mayor que el anterior.

#### 6.2. Función Objetivo

El objetivo principal del modelo es minimizar el costo total de la distribución de última milla, el cual está directamente correlacionado con la distancia total recorrida de la flota, la cual se representa de la siguiente manera.

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in V} c_{ij} \cdot x_{ijk}$$

#### 6.3. Restricciones del modelo

**Cumplimiento de Visita:** Cada cliente  $j$  debe ser visitado exactamente una vez por un único vehículo.

$$\sum_{i \in N} \sum_{k \in V} x_{ijk} = 1 \quad \forall j \in N, j \neq 0$$

Esta restricción asegura que cada cliente o tienda de la red sea visitado exactamente una vez durante la jornada. Matemáticamente, impide que un cliente sea ignorado por el sistema o que, por el contrario, reciba la visita de dos camiones diferentes

para el mismo pedido. Es el compromiso básico de servicio: llegar a todos los puntos donde se solicitó producto, sin duplicar esfuerzos ni desperdiciar recursos.

**Conservación de Flujo:** Si un vehículo llega a una tienda, debe salir de ella hacia otro destino o regresar al CEDI.

$$\sum_{i \in N} x_{ijk} - \sum_{i \in N} x_{jik} = 0 \quad \forall j \in N, \forall k \in V$$

Esta regla garantiza que el camión no se "pierda" ni se detenga definitivamente en una tienda. Establece que todo vehículo que llega a un nodo (tienda) debe obligatoriamente salir de él hacia el siguiente destino o de regreso al centro de distribución. De esta manera, el modelo construye una cadena lógica y continua de movimiento, asegurando que el ciclo logístico siempre se complete regresando al punto de origen.

**Restricción de Capacidad del Vehículo:** La carga total asignada a un vehículo \$k\$ no puede exceder su capacidad técnica en litros.

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N, j \neq 0} d_j \cdot x_{ijk} \leq Q_k \quad \forall k \in V$$

Debido a que cada camión tiene un espacio limitado, esta restricción impide que el modelo asigne más litros de los que el vehículo puede transportar físicamente. El sistema suma la demanda de todos los clientes asignados a una ruta y verifica que el total sea menor o igual a la capacidad máxima del camión. Esto evita sobrecargas que podrían causar daños mecánicos, accidentes o multas de tránsito, manteniendo la seguridad de la operación.

**Restricción de Jornada Laboral:** El tiempo total de recorrido sumado al tiempo de atención en los puntos no debe superar el límite de la jornada legal ( $T$ ).

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} (t_{ij} + s_i) \cdot x_{ijk} \leq T \quad \forall k \in V$$

Esta restricción limita la duración total de la ruta, sumando el tiempo de conducción entre tiendas y el tiempo que el conductor tarda en descargar el producto en cada punto. El objetivo es garantizar que la ruta diseñada no exceda el turno de trabajo legal permitido. Al respetar este límite, el modelo no solo es eficiente en costos, sino que también cumple con la normativa laboral y protege el bienestar de los conductores.

#### 6.4. Flujo de funcionamiento del modelo

El proceso operativo para habilitar la flexibilidad logística diaria se rige bajo la siguiente secuencia automatizable:

**Cierre de Pedidos (Preventa):** Consolidación de la demanda real ( $d_i$ ) en litros al final del día a través de la plataforma de toma de pedidos.

**Filtrado Activo y Georreferenciación:** Exclusión de clientes sin pedido y activación en el mapa digital de los nodos demandantes.

**Agrupación Dinámica (Clustering):** Algoritmo de cercanía geográfica que asocia clientes considerando la capacidad máxima del vehículo ( $Q_k$ ).

**Secuenciación Óptima:** Resolución matemática de la función objetivo para programar el orden exacto de paradas minimizando los kilómetros en vacío.

**Despacho y Trazabilidad:** Carga en el CEDI bajo la política del 90% mínimo de ocupación y liberación de rutas al TMS para seguimiento en tiempo real.

## 6.5. Simulación de escenarios

### 6.5.1. Parámetros para la simulación

Con el propósito de garantizar la validez metodológica de la simulación y permitir una comparación objetiva entre los escenarios evaluados, se establecieron una serie de parámetros de control que permanecen constantes en ambos modelos. Estos parámetros representan las condiciones operativas reales bajo las cuales se desarrolla la distribución secundaria (T2) y constituyen la base sobre la cual se ejecuta el modelo de optimización.

**TABLA 2 PARÁMETROS PARA SIMULACIÓN**

| Parámetro                     | Valor Definido para la Simulación       | Justificación Técnica                              |
|-------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Zona de Operación             | Distrito 6 de Bogotá (Kennedy/Fontibón) | Área con alta densidad de clientes TaT.            |
| Capacidad Vehicular ( $Q_k$ ) | 3.500 kilogramos / Litros               | Capacidad estándar de un camión tipo NHR.          |
| Costo por Kilómetro           | \$3.800 COP                             | Incluye ACPM, mantenimiento y rodamiento.          |
| Velocidad Promedio Urbano     | 15 km/h                                 | Realidad del tráfico en el suroccidente de Bogotá. |
| Tiempo de Entrega (Servicio)  | 10 minutos por cliente                  | Tiempo de descargue, cobro y legalización.         |
| Jornada Laboral Máxima (T)    | 8 horas o 480 minutos (Ideal)           | Límite legal y operativo para el conductor.        |

**Fuente:** Elaboración propia

### 6.5.2. Comparación de escenarios.

Con base en los parámetros de control definidos, el modelo de ruteo fue evaluado mediante un análisis comparativo en dos escenarios operativos representativos: un día valle, caracterizado por una baja demanda y menor presión sobre la capacidad logística, y un día pico, asociado a altos volúmenes de pedidos y mayores restricciones operativas. Esta comparación permitió analizar el comportamiento del modelo de optimización bajo diferentes niveles de demanda, evaluando su capacidad de adaptación, eficiencia en la asignación de rutas y utilización de recursos en condiciones normales y críticas de operación.

### 6.5.2.1. Escenario día valle (Baja demanda).

El escenario de "Día Valle" representa la operación en jornadas donde el volumen de pedidos cae por debajo del promedio histórico, una situación común en el canal TaT tras fines de semana festivos o cierres de mes. En el modelo actual de rutas fijas, la empresa opera bajo una estructura de costos rígida: los vehículos salen a sus zonas habituales sin importar que su factor de ocupación sea bajo. Este escenario busca demostrar la ineficiencia de "transportar aire" y cómo la flexibilidad del ruteo dinámico permite la consolidación de recursos.

**TABLA 3 COMPARATIVO ESCENARIO DÍA VALLE**

| Variable de Desempeño | Modelo Actual (Rutas Fijas) | Modelo Optimizado (TMS) | Mejora               |
|-----------------------|-----------------------------|-------------------------|----------------------|
| Clientes con pedido   | 34 tiendas                  | 34 tiendas              | Igual (Demanda real) |
| Volumen Total Pedido  | 3.050 litros                | 3.050 litros            | Igual                |
| Vehículos Despachados | 2 camiones (6-A y 6-B)      | 1 camión (Ruta única)   | -50% Flota           |
| Distancia Recorrida   | 87 km (45km + 42km)         | 58 km                   | -33% Kilometraje     |
| Factor de Ocupación   | 43% promedio                | 87%                     | 102% Eficiencia      |
| Costo Total Operativo | \$330.600                   | \$220.400               | -33% Gasto           |
| Costo por Litro (KPI) | \$108.39                    | \$72.26                 | -33% Costo/Lt        |

**Fuente:** Elaboración propia

La simulación revela que el modelo optimizado logra una reducción drástica del 50% en la flota activa y del 33% en el costo por litro. Mientras que el modelo actual subutiliza dos camiones al 43% de su capacidad, el modelo propuesto detecta que la demanda total (3.050 L) puede ser absorbida por un solo vehículo, operando al 87%. El ahorro en kilometraje (de 87 km a 58 km) no solo impacta el gasto de combustible, sino que también reduce el tiempo total de exposición al tráfico del Distrito 6, validando que la flexibilidad es la mejor estrategia ante la baja demanda.

### 6.5.2.2. Escenario día pico (Alta demanda).

El escenario de "Día Pico" simula las jornadas de máxima presión operativa, como los días previos a festivos o temporadas de promociones, donde la demanda en litros supera la capacidad instalada de las rutas fijas. En el modelo actual, la saturación de una zona obliga a la empresa a incurrir en sobre costos por fletes externos o a incumplir con el nivel de servicio. Este ejercicio demuestra cómo el modelo optimizado utiliza algoritmos de balanceo de carga para redistribuir los excedentes de manera equitativa entre la flota propia existente.

**TABLA 4 COMPARATIVO ESCENARIO DÍA PICO**

| Variable de Desempeño | Modelo Actual (Rutas Fijas)          | Modelo Optimizado (TMS)          | Mejora               |
|-----------------------|--------------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| Clientes con pedido   | 60 tiendas                           | 60 tiendas                       | Igual (Demanda real) |
| Volumen Total Pedido  | 7.200 litros                         | 7.200 litros                     | Igual                |
| Vehículos Despachados | 3 camiones (2 propios + 1 alquilado) | 2 camiones (Propios balanceados) | -33% Flota           |
| Distancia Recorrida   | 145 km                               | 112 km                           | -23% Kilometraje     |
| Factor de Ocupación   | 68% (Uno va casi vacío)              | 96% (Carga equilibrada)          | 41% Eficiencia       |
| Costo Total Operativo | \$551.000                            | \$425.600                        | -23% Gasto           |
| Costo por Litro (KPI) | \$76.52                              | \$59.11                          | -23% Costo/Lt        |

**Fuente:** Elaboración propia

En condiciones de alta demanda, la eficiencia se traduce en evitar el uso de terceros. El modelo actual, al ser rígido, colapsa en la Zona Norte y requiere un tercer vehículo de apoyo que viaja casi vacío, elevando el costo por litro a \$76,52. Por el contrario, el modelo optimizado redistribuye los clientes fronterizos entre los dos camiones propios, logrando una ocupación del 96% en ambos. Esto genera un ahorro del 23% en el costo operativo total y garantiza que el 100% de los pedidos se entreguen sin necesidad de subcontratación externa, protegiendo el margen de utilidad del producto.

## 6.6. Análisis global de escenarios

Este análisis permite evidenciar cómo la incorporación de herramientas tecnológicas, criterios de optimización y gestión basada en datos transforma los procesos de asignación, seguimiento y toma de decisiones dentro de la operación logística. Mientras el modelo actual se caracteriza por una gestión empírica y rígida de las rutas, el modelo optimizado introduce mecanismos dinámicos y automatizados que buscan mejorar la eficiencia operativa, la capacidad de respuesta ante variaciones en la demanda y la trazabilidad de la distribución secundaria (T2).

**TABLA 5 COMPARATIVO DE FUNCIONAMIENTOS**

| Proceso                | Funcionamiento Modelo Actual         | Funcionamiento Modelo Optimizado         |
|------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------|
| Asignación de Clientes | Por zona geográfica inamovible.      | Por cercanía y disponibilidad de carga.  |
| Secuencia de Visitas   | A criterio del conductor (empírico). | Algoritmo de ruta mínima (Óptimo).       |
| Respuesta a picos      | Inflexible (Requiere apoyo externo). | Flexible (Rebalanceo de rutas).          |
| Trazabilidad           | Manual / Por llamadas.               | GPS / Georreferenciación en tiempo real. |
| Toma de Decisiones     | Basada en la intuición.              | Basada en datos y KPI del TMS.           |

**Fuente:** Elaboración propia

De igual forma se evidencia un cambio disruptivo en los siguientes factores:

**Ruptura del Punto de Equilibrio:** El modelo optimizado demuestra que el Costo por Litro Movilizado no es un valor estático, sino una variable que puede controlarse mediante la tecnología. En ambos escenarios (valle y pico), la mejora porcentual supera el 20%, lo que garantiza un retorno de inversión (ROI) acelerado para la implementación del TMS.

**Eficiencia de Activos:** La capacidad de "hacer más con menos" se evidencia al liberar vehículos en días valle y evitar fletes extra en días pico. Esto prolonga la vida útil de la flota propia y optimiza el uso de la mano de obra.

**Sostenibilidad Operativa:** La reducción promedio del 28% en el kilometraje total validada en las simulaciones no solo es un beneficio financiero, sino que constituye un pilar de responsabilidad ambiental al reducir la huella de carbono en la distribución de última milla en la ciudad de Bogotá.

## **6.7. Conclusión de la comparación de los modelos**

La evaluación comparativa de los escenarios sugiere que la implementación del modelo de ruteo dinámico podría contribuir a reducir la rigidez operativa del sistema actual, permitiendo que el costo logístico se adapte de manera más flexible a las fluctuaciones de la demanda.

Mientras que el modelo de rutas fijas presenta ineficiencias críticas tanto en la baja demanda (subutilización de activos) como en la alta demanda (dependencia de fletes externos), los resultados obtenidos en la simulación sugieren un punto de equilibrio eficiente mediante el rebalanceo automático de cargas y la consolidación de rutas.

Los resultados cuantitativos simulados, que reflejan una reducción promedio proyectada del 33% en el costo por litro movilizado y una mejora del 28% en la productividad del kilometraje, permiten inferir la viabilidad técnica del modelo y su potencial para disminuir los costos de la distribución secundaria en el Distrito 6 de Bogotá.

La prueba de escenarios permite proyectar que un enfoque de planeación soportado por datos y criterios de optimización podría superar al empirismo geográfico de rutas fijas, transformando la logística de un centro de costos a una ventaja competitiva sostenible.

## **7. Inicio y planeación del proyecto**

### **7.1. Acta de constitución**

Ver documento adjunto.

## **7.2. Planeación del proyecto**

### **7.2.1. Gestión del alcance**

#### **7.2.1.1. Requisitos del negocio**

- R001** Integrar el TMS con los sistemas internos (S21/SAP/CeluWeb) para sincronizar pedidos, clientes y ubicaciones en tiempo real.
- R002** Diseñar un modelo de ruteo que permita flexibilizar la operación frente a variables como los picos de venta entre otros.
- R003** Configurar e integrar indicadores de desempeño (KPI) dentro del TMS que midan tiempos de entrega, nivel de servicio, factor de carga, utilización vehicular y cumplimiento de rutas, generando tableros de control para la toma de decisiones.
- R004** Capacitar al personal operativo, administrativo y de transporte en el uso del TMS, garantizando la comprensión de sus funciones y beneficios.
- R005** Verificar que el sistema TMS cumpla con las políticas corporativas y normativas de seguridad de la información (autenticación, control de accesos, respaldo y trazabilidad de datos), protegiendo la integridad y confidencialidad de la operación logística.
- R006** Garantizar la trazabilidad total de las entregas mediante georreferenciación y monitoreo en tiempo real del estado de los pedidos, rutas y vehículos.
- R007** Incluir en el TMS un módulo de análisis de costos logísticos que permita comparar desempeño, kilometraje, consumo de combustible y eficiencia de cada ruta.
- R008** Establecer protocolos de soporte técnico, mantenimiento preventivo y gestión de incidentes para garantizar la continuidad operativa del TMS.

**R009** Realizar un proceso de evaluación comparativa entre el modelo de ruteo actual y el modelo optimizado, considerando indicadores de eficiencia, costos y servicio al cliente.

**R010** Diseñar una arquitectura tecnológica escalable que soporte el procesamiento masivo de datos (pedidos, rutas, ubicaciones y tiempos), garantizando rendimiento, compatibilidad y crecimiento futuro del sistema TMS.

#### **7.2.1.2. Requisitos de la solución**

##### **7.2.1.2.1. Funcionales**

R 001 Ejecutar una interfaz de sincronización automática y en tiempo real con S21, SAP y CeluWeb.

R 002 Permitir la reconfiguración dinámica de rutas para absorber variaciones y picos de demanda.

R 003 Generar tableros de control (Dashboards) con KPI de nivel de servicio, carga y cumplimiento.

R 006 Proveer trazabilidad de entregas mediante georreferenciación y seguimiento GPS en tiempo real.

R 007 Disponer de un módulo analítico para el cálculo de costos operativos (combustible, km y eficiencia).

R 009 Ejecutar una función de comparación técnica entre el modelo actual y el optimizado.

##### **7.2.1.2.2. No funcionales**

R 004 Contar con un plan de capacitación estructurado para todos los niveles de la organización.

R 005 Cumplir con protocolos de autenticación, control de accesos y respaldo de datos.

R 008 Garantizar la continuidad operativa mediante protocolos de mantenimiento y gestión de incidentes

R 010 Poseer una arquitectura capaz de soportar el procesamiento masivo de datos y crecimiento futuro.

### 7.2.1.3. **Matriz de Requisitos.**

Se presenta la matriz que reúne los requisitos identificados para el desarrollo del proyecto. Cada requisito incluye su descripción, necesidad que atiende, objetivo al que se alinea y su nivel de prioridad.

**TABLA 6 MATRIZ DE TRAZABILIDAD DE REQUISITOS**

| ID   | Descripción del requisito                                                                                                                                                                                                                      | Necesidades                                                                          | Objetivo al que se alinea                                                                                                  | Prioridad |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| R001 | Integrar el TMS con los sistemas internos (S21/SAP/CeluWeb) para sincronizar pedidos, clientes y ubicaciones en tiempo real.                                                                                                                   | Garantizar la conectividad y coherencia de la información entre áreas.               | Identificar los requisitos técnicos y operativos necesarios para la implementación de un Modelo de Ruteo Optimizado (TMS). | Alto      |
| R002 | Diseñar un modelo de ruteo que permita flexibilizar la operación frente a variables como los picos de venta entre otros.                                                                                                                       | Poder reaccionar frente a variables extremas de la operación de ruteo y distribución | Diseñar y formalizar el Modelo de Ruteo Optimizado.                                                                        | Alto      |
| R003 | Configurar e integrar indicadores de desempeño (KPI) dentro del TMS que midan tiempos de entrega, nivel de servicio, factor de carga, utilización vehicular y cumplimiento de rutas, generando tableros de control para la toma de decisiones. | Fortalecer el control y monitoreo de la operación logística.                         | Evaluar el impacto operativo y financiero del Modelo de Ruteo Optimizado frente al sistema actual.                         | Medio     |

| ID   | Descripción del requisito                                                                                                                                                                                                                                     | Necesidades                                                                         | Objetivo al que se alinea                                                                                                  | Prioridad |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| R004 | Capacitar al personal operativo, administrativo y de transporte en el uso del TMS, garantizando la comprensión de sus funciones y beneficios.                                                                                                                 | Asegurar la adopción efectiva y correcta utilización de la herramienta tecnológica. | Identificar los requisitos técnicos y operativos necesarios para la implementación del Modelo de Ruteo Optimizado (TMS).   | Alto      |
| R005 | Verificar que el sistema TMS cumpla con las políticas corporativas y normativas de seguridad de la información (autenticación, control de accesos, respaldo y trazabilidad de datos), protegiendo la integridad y confidencialidad de la operación logística. | Asegurar la protección de los datos y la confiabilidad de la información procesada. | Identificar los requisitos técnicos y operativos necesarios para la implementación de un Modelo de Ruteo Optimizado (TMS). | Medio     |
| R006 | Garantizar la trazabilidad total de las entregas mediante georreferenciación y monitoreo en tiempo real del estado de los pedidos, rutas y vehículos.                                                                                                         | Aumentar la visibilidad operativa y el control de la flota.                         | Diseñar y formalizar el Modelo de Ruteo Optimizado.                                                                        | Alto      |
| R007 | Incluir en el TMS un módulo de análisis de costos logísticos que permita comparar desempeño, kilometraje, consumo de combustible y eficiencia de cada ruta.                                                                                                   | Controlar y optimizar los costos operativos de transporte.                          | Evaluar el impacto operativo y financiero del Modelo de Ruteo Optimizado frente al sistema actual.                         | Medio     |
| R008 | Establecer protocolos de soporte técnico, mantenimiento preventivo y gestión de incidentes para garantizar la continuidad operativa del TMS.                                                                                                                  | Garantizar la sostenibilidad y estabilidad del sistema post-implementación.         | Identificar los requisitos técnicos y operativos necesarios para la implementación de un Modelo de Ruteo Optimizado (TMS). | Medio     |
| R009 | Realizar un proceso de evaluación comparativa entre el modelo de ruteo actual y el modelo optimizado, considerando indicadores de eficiencia, costos y servicio al cliente.                                                                                   | Alinear las mejoras con los objetivos de desempeño logístico y financiero.          | Evaluar el impacto operativo y financiero del Modelo de Ruteo Optimizado frente al sistema actual.                         | Alto      |

| ID   | Descripción del requisito                                                                                                                                                                                           | Necesidades                                                                                      | Objetivo al que se alinea                                                                                                  | Prioridad |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| R010 | Diseñar una arquitectura tecnológica escalable que soporte el procesamiento masivo de datos (pedidos, rutas, ubicaciones y tiempos), garantizando rendimiento, compatibilidad y crecimiento futuro del sistema TMS. | Asegurar la estabilidad, capacidad y escalabilidad del sistema frente al aumento de operaciones. | Identificar los requisitos técnicos y operativos necesarios para la implementación de un Modelo de Ruteo Optimizado (TMS). | Medio     |

**Fuente:** Elaboración propia

#### 7.2.1.4. *Enunciado del alcance.*

**TABLA 7 ENUNCIADO DEL ALCANCE DEL PROYECTO**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Proyecto:</b> Optimización del Modelo de Rutas Fijas en la Distribución Secundaria (T2) para el Canal TaT.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <p><b>Objetivo General:</b> Desarrollar y evaluar un Modelo de Ruteo Optimizado para la operación de distribución secundaria (T2) en el canal TaT, con el propósito de equilibrar la carga entre vehículos, mejorar significativamente la eficiencia operativa e incrementar el nivel de servicio al cliente.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <p><b>Objetivos Específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagnosticar el funcionamiento actual del modelo de ruteo fijo en la distribución secundaria para canal TaT, identificando las limitaciones y las causas del desequilibrio de carga y la afectación del nivel de servicio.</li> <li>• Identificar los requisitos técnicos y operativos necesarios para la implementación de un Modelo de Ruteo Optimizado (TMS) que soporte la redistribución dinámica o semi dinámica de clientes y pedidos entre rutas.</li> <li>• Diseñar y formalizar el Modelo de Ruteo Optimizado, integrando herramientas de diagnóstico de demanda y políticas de capacidad vehicular, con el fin de generar flexibilidad en la asignación de pedidos y balancear la carga entre vehículos y equilibrar el nivel de trabajo de la tripulación.</li> <li>• Evaluar el impacto operativo y financiero del Modelo de Ruteo Optimizado frente al sistema actual, mediante simulaciones o estudios de caso que consideren distintos escenarios de demanda, para justificar la implementación.</li> </ul> |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

**Alcance detallado****A nivel producto:**

- Modelo de Asignación Flexible: Capaz de redistribuir dinámica o semi dinámicamente clientes y pedidos entre rutas según variables de demanda, capacidad y jornada laboral.
- Integración de Sistemas: Requisitos y lineamientos para la integración del TMS con los sistemas internos existentes (SAP/S21/CeluWeb) para sincronizar datos de pedidos, clientes y ubicaciones en tiempo real.
- Módulo de KPI: Definición de la configuración de indicadores clave de desempeño (KPI) como Costo/Litro, Nivel de Servicio, Factor de Carga y Tiempos de Entrega.
- Trazabilidad: Requisitos para garantizar la georreferenciación y el monitoreo en tiempo real de vehículos y pedidos.
- Documentación: Informe de evaluación comparativa del modelo optimizado frente al fijo, incluyendo un análisis de impacto operativo y financiero mediante simulaciones.

**A nivel proyecto:**

- Fase 1: Diagnóstico y Análisis: Recolección y análisis cuantitativo de datos históricos (cargas, ventas, costos/litro, volatilidad de la demanda) y cualitativo (entrevistas/encuestas a operativos) para identificar limitaciones del modelo fijo.
- Fase 2: Requisitos y Diseño: Identificación de requisitos técnicos y diseño formal de la lógica del Modelo de Ruteo Optimizado.
- Fase 3: Evaluación y Propuesta: Simulación o estudio de caso para evaluar el impacto operativo y financiero del modelo optimizado y justificar su implementación.

**Exclusiones:**

- La implementación y compra real del sistema TMS o la tecnología de ruteo. El proyecto se limita al diseño, formalización y evaluación de la propuesta.
- La gestión comercial previa a la venta.
- La formación y capacitación real del personal, aunque el requisito (R005) está identificado.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>La integración completa de sistemas (R002) y la arquitectura tecnológica (R011), aunque los requisitos y lineamientos deben ser diseñados.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <p><b>Criterios de aceptación: qué debería cumplir para aceptarlo (cliente)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>El modelo de ruteo optimizado debe ser formalmente diseñado y documentado.</li> <li>La evaluación simulada debe demostrar una mejora significativa en el equilibrio de carga y en indicadores clave como el Costo por Litro Movilizado.</li> <li>Cumplimiento de los objetivos específicos.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <p><b>Entregables:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Gestión del proyecto</li> <li>Diagnóstico del modelo actual</li> <li>Diseño del modelo optimizado</li> <li>Evaluación y propuesta final</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <p><b>Hitos del proyecto</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aprobación del Acta de Constitución. <i>Mes 1</i></li> <li>Requisitos del Proyecto Definidos y Priorizados. <i>Mes 1</i></li> <li>Datos Operativos AS IS. <i>Mes 2</i></li> <li>Diagnóstico AS IS. <i>Mes 2</i></li> <li>Arquitectura del Modelo Optimizado. <i>Mes 3</i></li> <li>Documento del Modelo de Asignación Flexible. <i>Mes 3</i></li> <li>Reglas Operativas del Modelo. <i>Mes 4</i></li> <li>Diseño del TMS Requerido. <i>Mes 5</i></li> <li>Simulación del Modelo Optimizado. <i>Mes 6</i></li> <li>Comparativo AS IS vs TO BE. <i>Mes 6</i></li> <li>Evaluación Financiera TO BE. <i>Mes 7</i></li> </ul> |

- Indicadores KPIs. *Mes 7*
- Informe Técnico del Modelo. *Mes 8.*

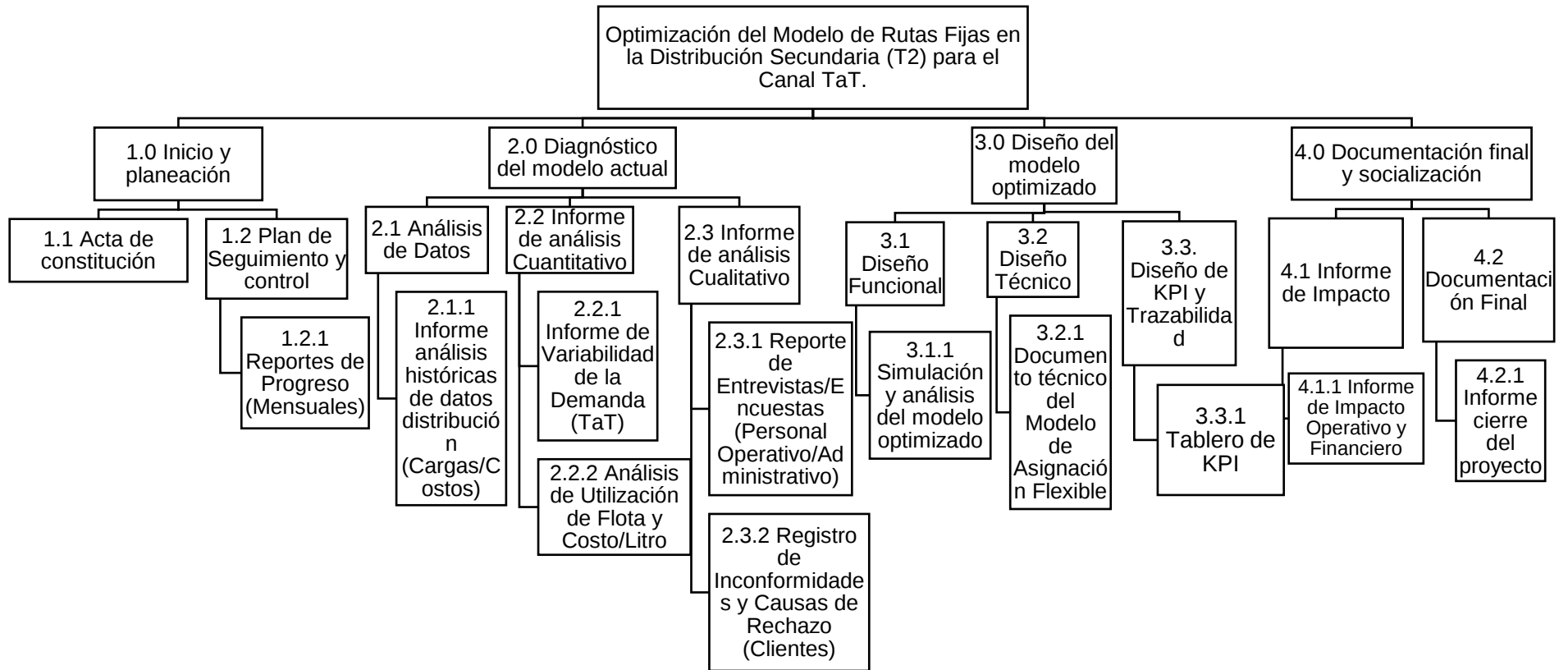
**Restricciones:**

- Tiempo total de ejecución: Máximo plazo: 255 días
- Máximo presupuesto disponible: \$186.560.000

**Presupuesto estimado del proyecto: \$169.600.000**

**Fuente:** Elaboración propia

### 7.2.1.5. Estructura de desglose del trabajo (EDT).



Fuente: Elaboración propia

### 7.2.1.6. Diccionario de la EDT.

**TABLA 8 DICCIONARIO DE LA EDT**

| ID    | Paquete de trabajo                   | Nombre del entregable                                             | Definición del entregable                                                                                                                                                                                           | Responsable           |
|-------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 1.2.1 | 1.2 Plan de Seguimiento y control    | Reportes de Progreso (Mensuales)                                  | Informes periódicos que consolidan el avance del proyecto frente al cronograma, permitiendo identificar desviaciones, riesgos y acciones correctivas para garantizar el cumplimiento de los objetivos establecidos. | Director del Proyecto |
| 2.1.1 | 2.1 Análisis de Datos                | Informe análisis históricas de datos distribución (Cargas/Costos) | Documento que presenta el análisis detallado de la información histórica de la operación de distribución, incluyendo variables como volúmenes de carga, costos logísticos y desempeño operativo.                    | Analista de Datos     |
| 2.2.1 | 2.2 Informe de análisis Cuantitativo | Informe de Variabilidad de la Demanda (TaT)                       | Análisis estadístico del comportamiento de la demanda en el canal (TaT), identificando patrones de consumo, estacionalidad y fluctuaciones en los pedidos.                                                          | Analista de Datos     |

| ID    | Paquete de trabajo                   | Nombre del entregable                                                | Definición del entregable                                                                                                                                                                                                                | Responsable                 |
|-------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| 2.2.2 | 2.2 Informe de análisis Cuantitativo | Análisis de Utilización de Flota y Costo/Litro                       | Evaluación del nivel de utilización de los vehículos y su relación con el indicador de costo por litro movilizado, identificando ineficiencias y oportunidades de mejora en la operación.                                                | Analista Logístico          |
| 2.3.1 | 2.3 Informe de análisis Cualitativo  | Reporte de Entrevistas/Encuestas (Personas Operativa/Administrativo) | Documento que consolida los resultados obtenidos a partir de entrevistas y encuestas realizadas al personal operativo y administrativo, permitiendo identificar percepciones, problemáticas y oportunidades de mejora del modelo actual. | Analista de Procesos        |
| 2.3.2 | 2.3 Informe de análisis Cualitativo  | Registro de Inconformidades y Causas de Rechazo (Clientes)           | Registro estructurado que identifica y clasifica las principales inconformidades de los clientes y causas de rechazo en las entregas, facilitando el análisis de fallas en el servicio.                                                  | Área de Servicio al Cliente |
| 3.1.1 | 3.1 Diseño Funcional                 | Simulación y análisis del modelo optimizado                          | Documento que presenta la simulación del modelo de ruteo propuesto y el análisis de sus resultados en términos de eficiencia operativa, tiempos de entrega y nivel de servicio.                                                          | Analista de Datos           |

| ID    | Paquete de trabajo               | Nombre del entregable                               | Definición del entregable                                                                                                                                                               | Responsable           |
|-------|----------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 3.2.1 | 3.2 Diseño Técnico               | Documento técnico del Modelo de Asignación Flexible | Documento técnico que describe la estructura, lógica de funcionamiento, variables, restricciones y criterios operativos del modelo de ruteo optimizado propuesto.                       | Analista Logístico    |
| 3.3.1 | 3.3 Diseño de KPI y Trazabilidad | Tablero de KPIs                                     | Tablero tipo BI para control, seguimiento y análisis de indicadores.                                                                                                                    | Analista Logístico    |
| 4.1.1 | 4.1 Informe de Impacto           | Informe de Impacto Operativo y Financiero           | Documento que evalúa los resultados del modelo optimizado en términos de impacto operativo y financiero, considerando indicadores de eficiencia, costos logísticos y nivel de servicio. | Director del Proyecto |
| 4.2.1 | 4.2 Documentación Final          | Informe cierre del proyecto                         | Documento final que consolida los resultados del proyecto, lecciones aprendidas, conclusiones y recomendaciones para la implementación y sostenibilidad del modelo propuesto.           | Director del Proyecto |

**Fuente:** Elaboración propia

## **7.2.2. Gestión del cronograma**

### **7.2.2.1. Definición de Actividades.**

A continuación, se presenta el listado oficial de las actividades que se tienen contempladas a desarrollar durante las diferentes etapas del proyecto.

**TABLA 9 DEFINICIÓN DE ACTIVIDADES**

| <b>Actividad</b>                     | <b>Descripción de la actividad</b>                                                                                    | <b>Duración<br/>(Semanas)</b> |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 1.1 Acta de constitución             | Elaboración y formalización del acta de constitución del proyecto, definiendo alcance, objetivos e interesados clave. | 1                             |
|                                      | Definición de los lineamientos, indicadores y mecanismos de seguimiento y control del proyecto.                       | 1                             |
| 1.2 Plan de Seguimiento y control    | Diseño del formato y estructura de los reportes de progreso del proyecto.                                             | 1                             |
|                                      | Elaboración y actualización de reportes de progreso mensuales del proyecto.                                           | 4                             |
| 2.1 Análisis de Datos                | Recolección de información histórica de la operación de distribución.                                                 | 2                             |
|                                      | Depuración y organización de bases de datos para análisis.                                                            | 1                             |
|                                      | Análisis de cargas y costos de distribución.                                                                          | 2                             |
|                                      | Elaboración del informe de análisis histórico de datos.                                                               | 1                             |
|                                      | Análisis estadístico de la demanda en el canal TaT.                                                                   | 2                             |
| 2.2 Informe de análisis Cuantitativo | Identificación de patrones y variabilidad de la demanda.                                                              | 1                             |
|                                      | Elaboración del informe de variabilidad de la demanda.                                                                | 1                             |
|                                      | Análisis de utilización de la flota de distribución.                                                                  | 2                             |
|                                      | Cálculo del indicador costo por litro movilizado.                                                                     | 1                             |
|                                      | Elaboración del informe de utilización de flota y costo/litro.                                                        | 1                             |
| 2.3 Informe de análisis Cualitativo  | Diseño de instrumentos de recolección de información (encuestas/entrevistas).                                         | 1                             |
|                                      | Aplicación de entrevistas y encuestas al personal operativo y administrativo.                                         | 2                             |
|                                      | Análisis de resultados cualitativos obtenidos.                                                                        | 1                             |

|                                  |                                                                  |   |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------------|---|
| 3.1 Diseño Funcional             | Elaboración del reporte de entrevistas y encuestas.              | 1 |
|                                  | Recolección de información sobre inconformidades de clientes.    | 1 |
|                                  | Clasificación y análisis de causas de rechazo.                   | 1 |
|                                  | Elaboración del registro de inconformidades y causas de rechazo. | 1 |
|                                  | Definición de variables y restricciones del modelo de ruteo.     | 1 |
|                                  | Diseño conceptual del modelo de ruteo optimizado.                | 2 |
|                                  | Construcción de la lógica del modelo de asignación.              | 2 |
|                                  | Simulación del modelo optimizado.                                | 2 |
|                                  | Análisis de resultados de la simulación.                         | 1 |
|                                  | Elaboración del documento de simulación del modelo.              | 1 |
| 3.2 Diseño Técnico               | Definición técnica del modelo (estructura y algoritmos).         | 2 |
|                                  | Documentación técnica del modelo de ruteo.                       | 1 |
|                                  | Elaboración del documento técnico del modelo.                    | 1 |
| 3.3 Diseño de KPI y Trazabilidad | Definición de indicadores clave de desempeño (KPI).              | 1 |
|                                  | Diseño de mecanismos de trazabilidad y seguimiento del modelo.   | 1 |
| 4.1 Informe de Impacto           | Consolidación de resultados operativos del modelo.               | 1 |
|                                  | Análisis del impacto financiero del modelo.                      | 1 |
|                                  | Evaluación de indicadores de desempeño del modelo.               | 1 |
|                                  | Elaboración del informe de impacto operativo y financiero.       | 1 |
| 4.2 Documentación Final          | Consolidación de todos los entregables del proyecto.             | 1 |
|                                  | Redacción del documento final del proyecto.                      | 2 |
|                                  | Revisión, ajustes y cierre del proyecto.                         | 1 |

**Fuente:** Elaboración propia

### 7.2.2.2. Identificación de Hitos Principales.

Con el fin de garantizar un control adecuado del avance del proyecto y asegurar que cada fase se complete de acuerdo con los entregables establecidos en la EDT, identificamos los hitos principales que marcan los momentos clave dentro del desarrollo del trabajo. Los hitos representan puntos de verificación que permiten evaluar el cumplimiento de actividades críticas, validar entregables parciales y autorizar el paso a la siguiente etapa del proyecto.

La siguiente tabla presenta los hitos que establecimos, los cuales constituyen referencias esenciales para el seguimiento, la toma de decisiones y la gestión integral del proyecto.

**TABLA 10 IDENTIFICACIÓN DE HITOS**

| ID | Nombre del Hito                             | Descripción                                                                                                   | Semana estimada |
|----|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| H1 | Inicio formal del proyecto                  | Aprobación y formalización del acta de constitución del proyecto, marcando el inicio oficial de la ejecución. | Semana 1        |
| H2 | Plan de seguimiento definido                | Finalización del plan de seguimiento y control, incluyendo estructura de reportes y mecanismos de monitoreo.  | Semana 2        |
| H3 | Diagnóstico de datos completado             | Finalización del análisis de datos históricos de distribución (cargas y costos).                              | Semana 6        |
| H4 | Análisis de demanda finalizado              | Entrega del informe de variabilidad de la demanda del canal TaT.                                              | Semana 10       |
| H5 | Evaluación de flota y costos completada     | Finalización del análisis de utilización de flota y cálculo del costo por litro.                              | Semana 13       |
| H6 | Diagnóstico cualitativo completado          | Consolidación de entrevistas, encuestas e identificación de inconformidades de clientes.                      | Semana 17       |
| H7 | Diseño funcional del modelo completado      | Finalización de la simulación y análisis del modelo de ruteo optimizado.                                      | Semana 23       |
| H8 | Diseño técnico del modelo finalizado        | Entrega del documento técnico del modelo de asignación flexible.                                              | Semana 27       |
| H9 | Definición de KPI y trazabilidad completada | Establecimiento de indicadores de desempeño y mecanismos de seguimiento del modelo.                           | Semana 29       |

| ID  | Nombre del Hito                 | Descripción                                                                      | Semana estimada |
|-----|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| H10 | Evaluación de impacto realizada | Finalización del análisis de impacto operativo y financiero del modelo.          | Semana 33       |
| H11 | Cierre del proyecto             | Entrega del informe final y cierre formal del proyecto con lecciones aprendidas. | Semana 37       |

**Fuente:** Elaboración propia

### 7.2.2.3. Cronograma de Alto Nivel Por Fases

**TABLA 11** CRONOGRAMA DE ALTO NIVEL POR FASES

| Fase    | 1. Inicio y planeación | 2. Diagnóstico del modelo actual | 3. Diseño del modelo optimizado | 4. Documentación final y socialización |
|---------|------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------|
| Semanas | Semana 7               | Semana 28                        | Semana 43                       | Semana 51                              |

**Fuente:** Elaboración propia

#### Cálculo por fases

**Fase 1 (Inicio y planeación):** Suma total = 7 semanas

**Fase 2 (Diagnóstico del modelo actual):** Suma total = 21 semanas

**Fase 3 (Diseño del modelo optimizado):** Suma total = 15 semanas

**Fase 4 (Documentación final y socialización):** Suma total = 8 semanas

Acumulado de semanas de cada fase:

Fase 1: Semana 7

Fase 2:  $7 + 21 = 28$

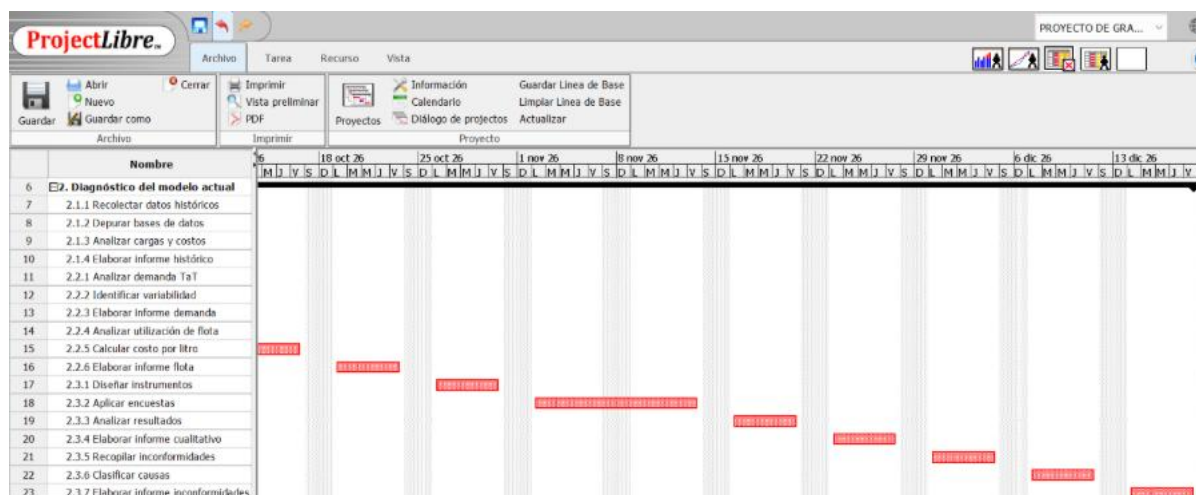
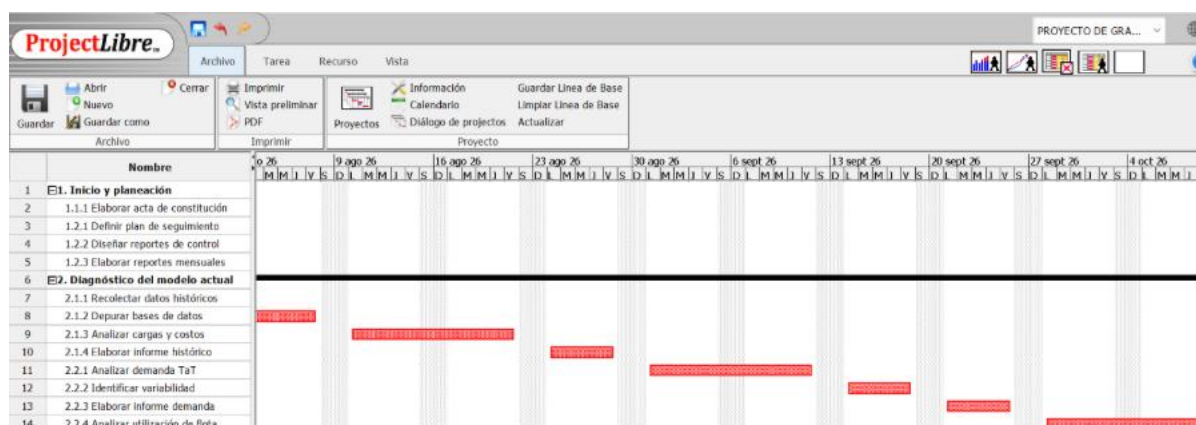
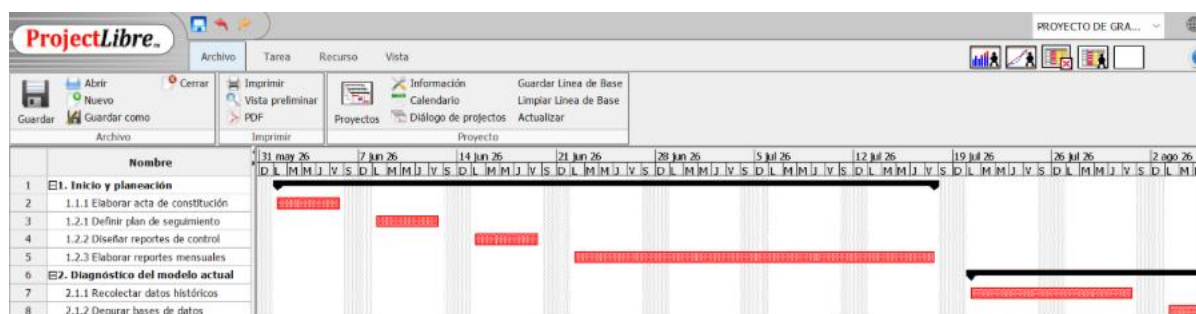
Fase 3:  $28 + 15 = 43$

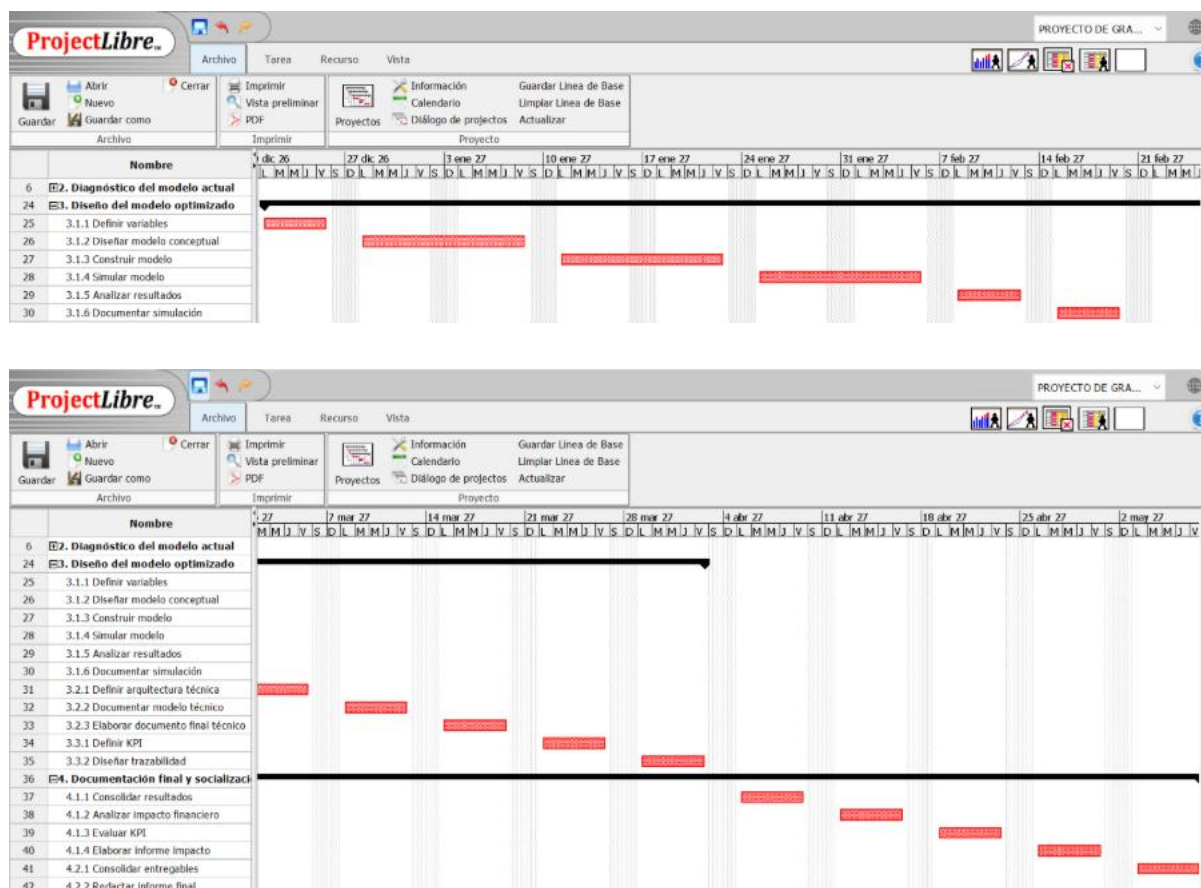
Fase 4:  $43 + 8 = 51$

### 7.2.2.4. Línea Base del Cronograma

Esta línea base servirá como referencia para el seguimiento y control del avance, permitiendo identificar desviaciones en tiempo y aplicar acciones correctivas oportunas.

El diagrama de Gantt presentado a continuación muestra la distribución de las actividades contempladas en la ejecución del proyecto, organizadas según su interdependencia y relevancia dentro del proceso metodológico. Este cronograma permite identificar las etapas clave y los periodos de trabajo, facilitando así el seguimiento del avance y la toma de decisiones durante la ejecución del proyecto.





Fuente: Elaboración propia sobre Project libre

TABLA 12 LÍNEA BASE DEL CRONOGRAMA

| Fase                                   | Duración (Semanas) | Fecha de inicio | Fecha de finalización |
|----------------------------------------|--------------------|-----------------|-----------------------|
| 1. Inicio y planeación                 | 7                  | 1/6/2026        | 20/07/2026            |
| 2. Diagnóstico del modelo actual       | 21                 | 21/07/2026      | 14/12/2026            |
| 3. Diseño del modelo optimizado        | 15                 | 15/12/2026      | 29/03/2027            |
| 4. Documentación final y socialización | 8                  | 30/03/2027      | 24/05/2027            |

### 7.2.3. Gestión del Costos

Fuente: Elaboración propia

### 7.2.3.1. Estimación de costos por actividades

Con el fin de garantizar una adecuada planificación financiera del proyecto y asegurar que los recursos sean asignados de manera eficiente, se elaboró el cuadro de costos por actividad, el cual detalla las estimaciones económicas asociadas a cada una de las actividades. Este análisis permite identificar las necesidades presupuestales del proyecto, evaluar la magnitud de los recursos requeridos por fase y establecer una base objetiva para el seguimiento y control financiero. El siguiente cuadro presenta la distribución de costos por actividad, constituyendo un insumo fundamental para la construcción de la línea base del costo y la gestión integral del presupuesto del proyecto.

**TABLA 13 ESTIMACIÓN DE COSTOS POR ACTIVIDADES**

| Fase | Actividad | Descripción          | Duración | Costo HH     | Costo Tec   | Costo Mat | Costo Total  |
|------|-----------|----------------------|----------|--------------|-------------|-----------|--------------|
| 1    | 1.1.1     | Acta de constitución | 1        | \$3,800,000  | \$-         | \$100,000 | \$3,900,000  |
| 1    | 1.2.1     | Plan seguimiento     | 1        | \$3,200,000  | \$-         | \$100,000 | \$3,300,000  |
| 1    | 1.2.2     | Diseñar reportes     | 1        | \$1,400,000  | \$500,000   | \$100,000 | \$2,000,000  |
| 1    | 1.2.3     | Reportes mensuales   | 4        | \$12,800,000 | \$2,000,000 | \$200,000 | \$15,000,000 |
|      |           |                      |          | \$21,200,000 | \$2,500,000 | \$500,000 | \$24,200,000 |
| Fase | Actividad | Descripción          | Duración | Costo HH     | Costo Tec   | Costo Mat | Costo Total  |
| 2    | 2.1.1     | Recolección datos    | 2        | \$2,800,000  | \$2,000,000 | \$100,000 | \$4,900,000  |
| 2    | 2.1.2     | Depuración datos     | 1        | \$1,400,000  | \$2,000,000 | \$100,000 | \$3,500,000  |
| 2    | 2.1.3     | Análisis costos      | 2        | \$4,800,000  | \$3,000,000 | \$100,000 | \$7,900,000  |
| 2    | 2.1.4     | Informe histórico    | 1        | \$1,400,000  | \$1,000,000 | \$100,000 | \$2,500,000  |
| 2    | 2.2.1     | Análisis demanda     | 2        | \$2,800,000  | \$3,000,000 | \$100,000 | \$5,900,000  |
| 2    | 2.2.2     | Variabilidad         | 1        | \$1,400,000  | \$2,000,000 | \$100,000 | \$3,500,000  |
| 2    | 2.2.3     | Informe demanda      | 1        | \$1,400,000  | \$1,000,000 | \$100,000 | \$2,500,000  |
| 2    | 2.2.4     | Uso flota            | 2        | \$2,800,000  | \$3,000,000 | \$100,000 | \$5,900,000  |
| 2    | 2.2.5     | Costo litro          | 1        | \$1,400,000  | \$1,500,000 | \$100,000 | \$3,000,000  |

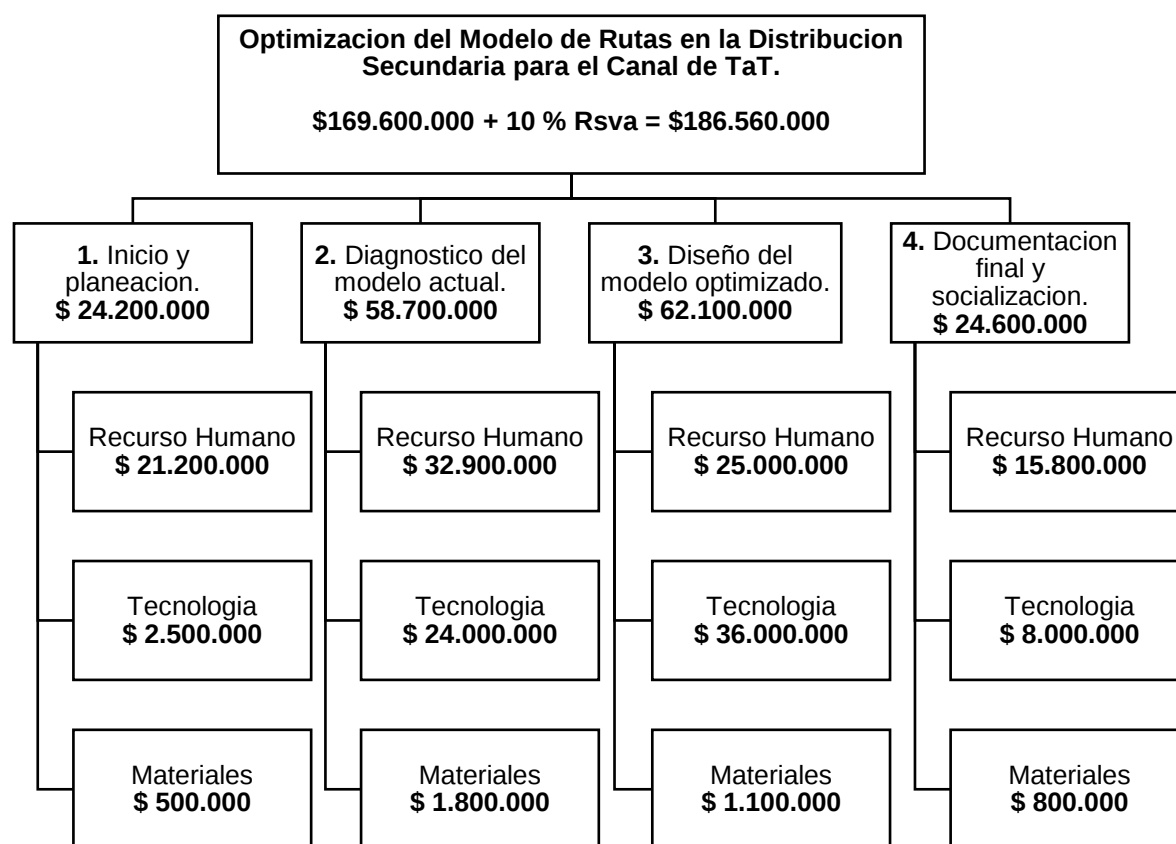
| Fase         | Actividad | Descripción          | Duración  | Costo HH            | Costo Tec           | Costo Mat          | Costo Total          |
|--------------|-----------|----------------------|-----------|---------------------|---------------------|--------------------|----------------------|
| 2            | 2.2.6     | Informe flota        | 1         | \$1,400,000         | \$1,000,000         | \$100,000          | \$2,500,000          |
| 2            | 2.3.1     | Encuestas            | 1         | \$1,400,000         | \$500,000           | \$100,000          | \$2,000,000          |
| 2            | 2.3.2     | Aplicación           | 2         | \$2,800,000         | \$1,000,000         | \$200,000          | \$4,000,000          |
| 2            | 2.3.3     | Análisis cualitativo | 1         | \$1,400,000         | \$1,000,000         | \$100,000          | \$2,500,000          |
| 2            | 2.3.4     | Informe cualitativo  | 1         | \$1,400,000         | \$500,000           | \$100,000          | \$2,000,000          |
| 2            | 2.3.5     | Inconformidades      | 1         | \$1,400,000         | \$500,000           | \$100,000          | \$2,000,000          |
| 2            | 2.3.6     | Clasificación        | 1         | \$1,500,000         | \$500,000           | \$100,000          | \$2,100,000          |
| 2            | 2.3.7     | Informe final        | 1         | \$1,400,000         | \$500,000           | \$100,000          | \$2,000,000          |
|              |           |                      |           | \$32,900,000        | \$24,000,000        | \$1,800,000        | \$58,700,000         |
| Fase         | Actividad | Descripción          | Duración  | Costo HH            | Costo Tec           | Costo Mat          | Costo Total          |
| 3            | 3.1.1     | Variables modelo     | 1         | \$1,400,000         | \$3,000,000         | \$100,000          | \$4,500,000          |
| 3            | 3.1.2     | Diseño modelo        | 2         | \$4,800,000         | \$5,000,000         | \$100,000          | \$9,900,000          |
| 3            | 3.1.3     | Construcción         | 2         | \$2,800,000         | \$6,000,000         | \$100,000          | \$8,900,000          |
| 3            | 3.1.4     | Simulación           | 2         | \$2,800,000         | \$7,000,000         | \$100,000          | \$9,900,000          |
| 3            | 3.1.5     | Análisis resultados  | 1         | \$1,400,000         | \$3,000,000         | \$100,000          | \$4,500,000          |
| 3            | 3.1.6     | Documentación        | 1         | \$1,400,000         | \$1,000,000         | \$100,000          | \$2,500,000          |
| 3            | 3.2.1     | Arquitectura         | 2         | \$4,800,000         | \$5,000,000         | \$100,000          | \$9,900,000          |
| 3            | 3.2.2     | Documento técnico    | 1         | \$1,400,000         | \$2,000,000         | \$100,000          | \$3,500,000          |
| 3            | 3.2.3     | Documento final      | 1         | \$1,400,000         | \$1,000,000         | \$100,000          | \$2,500,000          |
| 3            | 3.3.1     | KPI                  | 1         | \$1,400,000         | \$1,500,000         | \$100,000          | \$3,000,000          |
| 3            | 3.3.2     | Trazabilidad         | 1         | \$1,400,000         | \$1,500,000         | \$100,000          | \$3,000,000          |
|              |           |                      |           | \$25,000,000        | \$36,000,000        | \$1,100,000        | \$62,100,000         |
| Fase         | Actividad | Descripción          | Duración  | Costo HH            | Costo Tec           | Costo Mat          | Costo Total          |
| 4            | 4.1.1     | Resultados           | 1         | \$1,400,000         | \$2,000,000         | \$100,000          | \$3,500,000          |
| 4            | 4.1.2     | Impacto financiero   | 1         | \$2,000,000         | \$2,000,000         | \$100,000          | \$4,100,000          |
| 4            | 4.1.3     | KPI                  | 1         | \$1,400,000         | \$1,500,000         | \$100,000          | \$3,000,000          |
| 4            | 4.1.4     | Informe impacto      | 1         | \$1,400,000         | \$1,000,000         | \$100,000          | \$2,500,000          |
| 4            | 4.2.1     | Consolidación        | 1         | \$1,400,000         | \$500,000           | \$100,000          | \$2,000,000          |
| 4            | 4.2.2     | Documento final      | 2         | \$6,400,000         | \$1,000,000         | \$200,000          | \$7,600,000          |
| 4            | 4.2.3     | Cierre               | 1         | \$1,800,000         | \$-                 | \$100,000          | \$1,900,000          |
|              |           |                      |           | \$15,800,000        | \$8,000,000         | \$800,000          | \$24,600,000         |
| <b>TOTAL</b> |           |                      | <b>52</b> | <b>\$94,900,000</b> | <b>\$70,500,000</b> | <b>\$4,200,000</b> | <b>\$169,600,000</b> |

Fuente: Elaboración propia

### 7.2.3.2. Estructura de desagregación de Costos (CBS).

Para garantizar una planificación financiera precisa y un adecuado seguimiento del presupuesto, se realizó la desagregación detallada de los costos asociados a los paquetes de trabajo principales la EDT del proyecto, se presenta solo los consolidados de la línea uno (1). Esta estructura permite identificar claramente cuánto representa cada paquete de trabajo dentro del total del proyecto y facilita el control de variaciones durante su ejecución.

El costo ha sido asignado teniendo en cuenta la complejidad técnica de las actividades, el esfuerzo requerido por los recursos involucrados y la criticidad de los entregables. A continuación, se presenta el desglose completo de costos con el fin de garantizar una adecuada planificación financiera del proyecto y asegurar que los recursos sean asignados de manera eficiente, se elaboró el cuadro de costos por actividad.



**Fuente:** Elaboración propia

### 7.2.3.3. Línea base del Costo.

La gráfica siguiente muestra la distribución temporal de las actividades según sus fechas de finalización mensuales. Esta visualización permite identificar cómo progresa el proyecto a lo largo del tiempo y facilita el control y la gestión de los gastos asociados en cada etapa, asegurando un seguimiento financiero oportuno y alineado con el cronograma establecido.

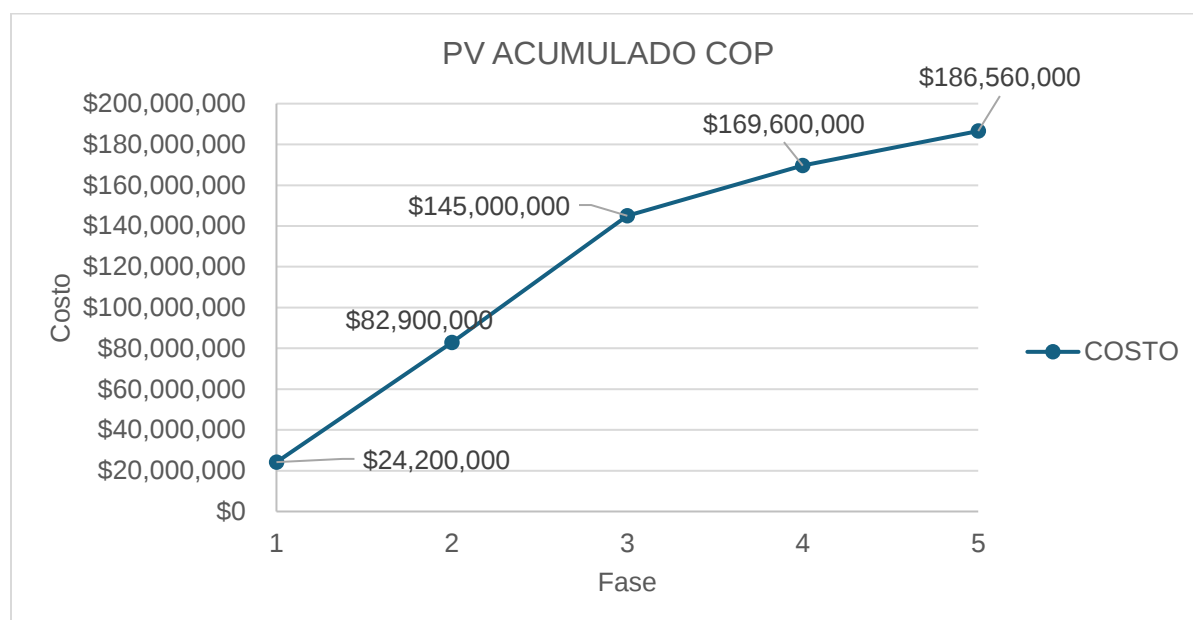


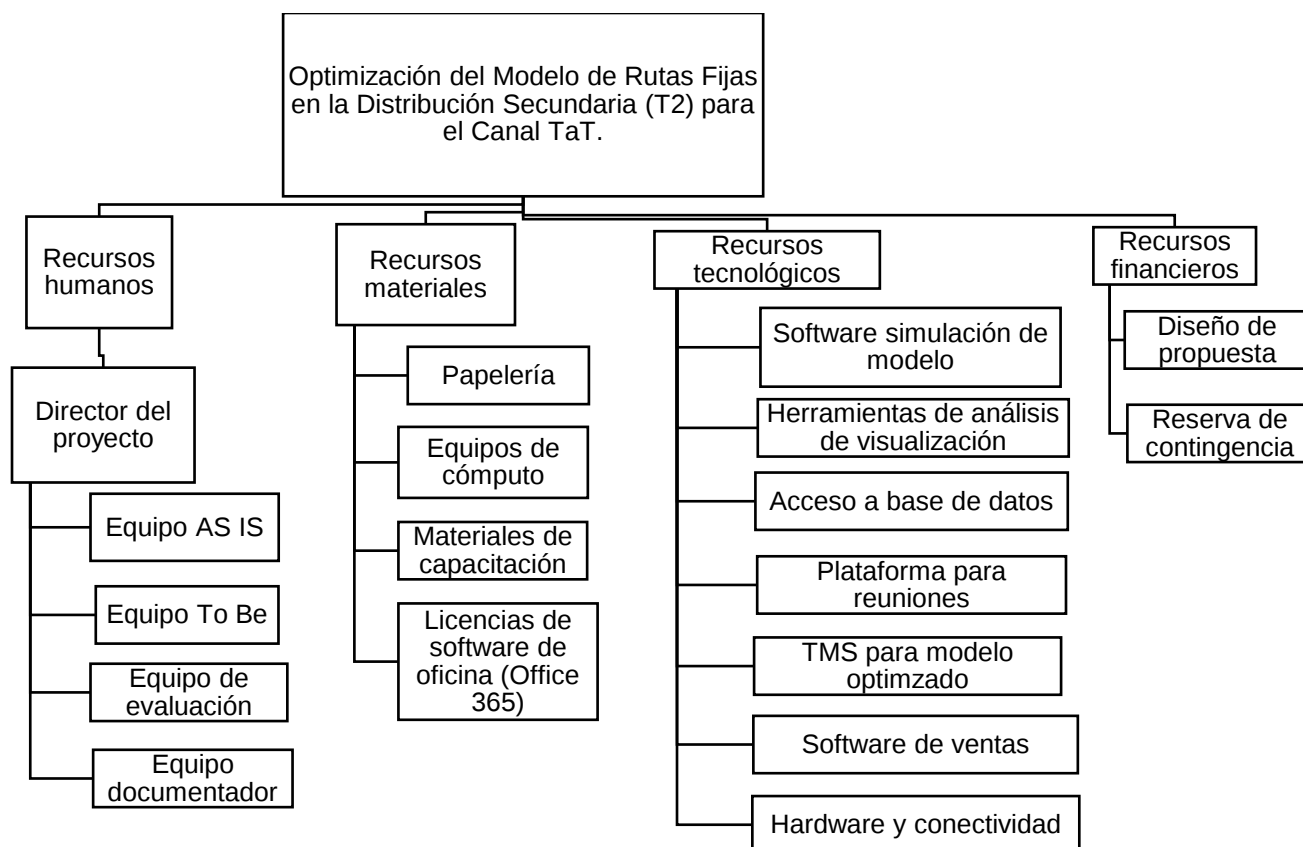
Ilustración 1 Valor presente acumulado

**Fuente:** Elaboración propia

### 7.2.4. Gestión de Recursos

#### 7.2.4.1. Estructura de desglose de recursos.

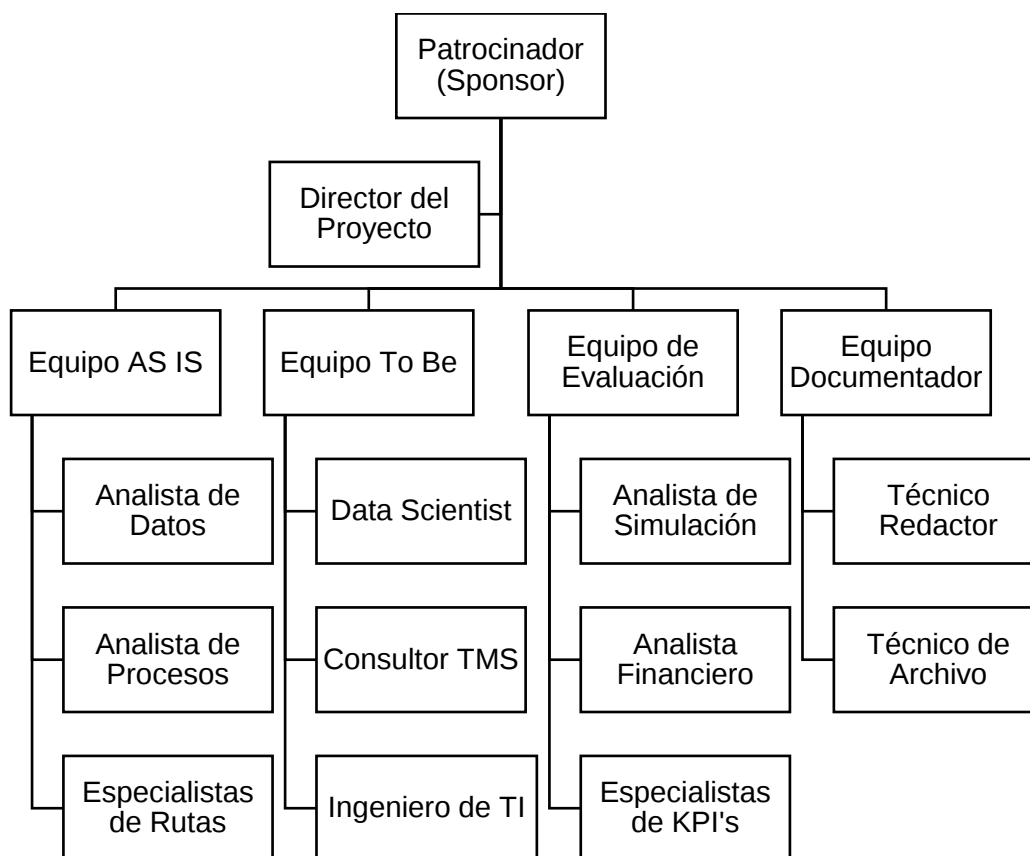
En el desarrollo del proyecto se hará uso de una estructura de desagregación de recursos (RBS, Resource Breakdown Structure) basada en cuatro categorías principales:



**Fuente:** Elaboración propia

#### **7.2.4.2. Organigrama del Proyecto.**

El organigrama del proyecto establece la estructura formal de roles que intervienen en la gestión y ejecución del proyecto. Su propósito es definir de manera clara la jerarquía, los niveles de autoridad y las líneas de comunicación necesarias para garantizar un desarrollo ordenado y eficiente. Esta representación facilita la coordinación entre los diferentes equipos involucrados, asegura la disponibilidad de los recursos clave y respalda la toma de decisiones en cada fase del proyecto.



**Fuente:** Elaboración propia

#### **7.2.4.3. Roles y responsabilidades.**

El desarrollo del proyecto requiere una estructura organizativa claramente definida que permita asegurar una adecuada asignación de funciones, responsabilidades y competencias a lo largo de su ejecución. En este sentido, el siguiente cuadro presenta la definición de los roles involucrados en el proyecto, especificando para cada uno de ellos su responsabilidad dentro del alcance establecido y las competencias requeridas para el cumplimiento efectivo de sus funciones.

TABLA 14 ROLES Y RESPONSABILIDADES

| Rol                                          | Responsabilidades en el Proyecto                                                                                                                                                                                                                                        | Competencias Requeridas                                                                                                                        |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Patrocinador (Sponsor)</b>                | Aprobar el alcance, recursos y lineamientos estratégicos del proyecto; garantizar alineación con los objetivos organizacionales; validar entregables clave y resultados finales.                                                                                        | Visión estratégica; liderazgo ejecutivo; toma de decisiones; conocimiento del negocio y la operación logística.                                |
| <b>Director del Proyecto</b>                 | Dirigir integralmente el proyecto; definir alcance, objetivos y metodología; coordinar los equipos AS IS, TO BE, Evaluación y Documentación; asegurar el cumplimiento del cronograma y la calidad de los entregables; consolidar resultados y conclusiones del estudio. | Gestión de proyectos (PMI); conocimiento en logística y distribución; capacidad analítica; liderazgo; redacción académica; toma de decisiones. |
| <b>Analista de Datos (Equipo AS IS)</b>      | Recopilar, depurar y analizar bases de datos históricas; construir la línea base de indicadores operativos y financieros; soportar el diagnóstico del modelo actual.                                                                                                    | Análisis de datos; manejo de herramientas analíticas (Excel, BI); interpretación de KPIs logísticos; pensamiento analítico.                    |
| <b>Analista de Procesos (Equipo AS IS)</b>   | Mapear y documentar los procesos actuales de distribución; identificar cuellos de botella y restricciones operativas; apoyar el diagnóstico del modelo vigente.                                                                                                         | Análisis de procesos; pensamiento sistémico; conocimiento operativo del canal TaT; capacidad de documentación.                                 |
| <b>Especialistas de Rutas (Equipo AS IS)</b> | Analizar configuración actual de rutas y frecuencias; validar restricciones geográficas y de capacidad; apoyar la evaluación del desempeño operativo.                                                                                                                   | Planeación de rutas; conocimiento territorial; experiencia en distribución; análisis operativo.                                                |
| <b>Data Scientist (Equipo TO BE)</b>         | Diseñar escenarios optimizados de ruteo; modelar alternativas; evaluar impactos en costos, utilización y nivel de servicio; validar cuantitativamente el modelo propuesto.                                                                                              | Modelación y simulación logística; análisis estadístico; pensamiento crítico; manejo de herramientas analíticas.                               |

| <b>Rol</b>                                           | <b>Responsabilidades en el Proyecto</b>                                                                                                             | <b>Competencias Requeridas</b>                                                                                            |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Consultor TMS (Equipo TO BE)</b>                  | Evaluar la viabilidad del modelo en el sistema TMS; parametrizar escenarios; validar compatibilidad tecnológica del diseño propuesto.               | Conocimiento en TMS; configuración de sistemas logísticos; análisis funcional; visión tecnológica aplicada a operaciones. |
| <b>Ingeniero de TI (Equipo TO BE)</b>                | Garantizar acceso e integridad de la información; apoyar extracción y procesamiento de datos; asegurar viabilidad tecnológica del modelo propuesto. | Sistemas de información; bases de datos; integración tecnológica; seguridad de la información.                            |
| <b>Analista de Simulación (Equipo de Evaluación)</b> | Construir escenarios comparativos AS IS vs TO BE; evaluar impactos operativos; validar resultados mediante simulación.                              | Simulación logística; análisis cuantitativo; modelación de escenarios; pensamiento estructurado.                          |
| <b>Analista Financiero (Equipo de Evaluación)</b>    | Evaluar impacto económico del modelo; analizar costos, ahorros proyectados y ROI; validar viabilidad financiera del proyecto.                       | Análisis financiero; evaluación de proyectos; proyección de costos; interpretación de indicadores financieros.            |
| <b>Especialistas de KPI's (Equipo de Evaluación)</b> | Definir y medir indicadores de desempeño; estructurar tablero de control; evaluar impacto en eficiencia y nivel de servicio.                        | Diseño de indicadores; control de gestión; análisis de desempeño logístico; enfoque en resultados.                        |
| <b>Técnico Redactor (Equipo Documentador)</b>        | Redactar informes técnicos; consolidar resultados; asegurar coherencia metodológica y académica del documento final.                                | Redacción técnica y académica; estructuración documental; capacidad de síntesis.                                          |
| <b>Técnico de Archivo (Equipo Documentador)</b>      | Gestionar soportes documentales; organizar evidencias; mantener trazabilidad y control de versiones del proyecto.                                   | Gestión documental; organización; control de información; rigurosidad administrativa.                                     |

**Fuente:** Elaboración propia

#### **7.2.4.4. Matriz RACI.**

Buscando garantizar una ejecución ordenada, trazable y eficiente del proyecto, se elaboró una Matriz RACI (Responsible, Accountable, Consulted, Informed) que define de

manera clara los roles y niveles de responsabilidad de cada integrante del equipo de trabajo. Esta matriz nos permite establecer quién ejecuta cada actividad, quién toma la decisión final, quién debe ser consultado durante la ejecución y quién debe mantenerse informado del avance.

La asignación adecuada de responsabilidades es fundamental para evitar duplicidad de esfuerzos, minimizar cuellos de botella, fortalecer la comunicación entre los equipos AS IS, TO BE, Evaluación y Documentación, y asegurar que cada entregable del proyecto se ejecute con calidad y dentro de los tiempos establecidos.

La siguiente matriz presenta la distribución formal de roles para cada actividad del EDT del proyecto de garantizar un control adecuado del avance del proyecto y asegurar que cada fase se complete de acuerdo con los entregables establecidos en la EDT, identificamos los hitos principales que marcan los momentos clave dentro del desarrollo del trabajo.

**TABLA 15 MATRIZ RACI**

| Paquete de trabajo                   | Director del Proyecto | Analista de Datos (Equipo AS IS) | Analista de Procesos (Equipo AS IS) | Especialistas de Rutas (Equipo AS IS) | Data Scientist (Equipo TO BE) | Consultor TMS (Equipo TO BE) | Ingeniero de TI (Equipo TO BE) | Analista de Simulación (Equipo de Evaluación) | Analista Financiero (Equipo de Evaluación) | Especialistas de KPI's (Equipo de Evaluación) | Técnico Redactor (Equipo Documentador) | Técnico de Archivo (Equipo Documentador) |
|--------------------------------------|-----------------------|----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|
| 1.2 Plan de Seguimiento y control    | R                     | I                                | I                                   | I                                     | I                             | I                            | I                              | I                                             | I                                          | I                                             | I                                      | I                                        |
| 2.1 Análisis de Datos                | I                     | R                                | R                                   | R                                     | R                             | C                            | I                              | R                                             | I                                          | R                                             | I                                      | I                                        |
| 2.2 Informe de análisis Cuantitativo | I                     | R                                | R                                   | R                                     | I                             | C                            | I                              | I                                             | I                                          | I                                             | I                                      | I                                        |
| 2.3 Informe de análisis Cualitativo  | I                     | R                                | R                                   | R                                     | I                             | C                            | I                              | I                                             | I                                          | I                                             | I                                      | I                                        |
| 3.1 Diseño Funcional                 | I                     | I                                | I                                   | I                                     | C                             | C                            | C                              | R                                             | R                                          | I                                             | I                                      | I                                        |
| 3.2 Diseño Técnico                   | I                     | I                                | I                                   | I                                     | C                             | C                            | C                              | R                                             | R                                          | I                                             | I                                      | I                                        |

| Paquete de trabajo               | Director del Proyecto | Analista de Datos (Equipo AS IS) | Analista de Procesos (Equipo AS IS) | Especialistas de Rutas (Equipo AS IS) | Data Scientist (Equipo TO BE) | Consultor TMS (Equipo TO BE) | Ingeniero de TI (Equipo TO BE) | Analista de Simulación (Equipo de Evaluación) | Analista Financiero (Equipo de Evaluación) | Especialistas de KPIs (Equipo de Evaluación) | Técnico Redactor (Equipo Documentador) | Técnico de Archivo (Equipo Documentador) |
|----------------------------------|-----------------------|----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|
| 3.3 Diseño de KPI y Trazabilidad | A                     | C                                | C                                   | C                                     | C                             | C                            | C                              | C                                             | I                                          | R                                            | I                                      | I                                        |
| 4.1 Informe de Impacto           | R                     | C                                | C                                   | C                                     | C                             | C                            | I                              | C                                             | C                                          | C                                            | R                                      | I                                        |
| 4.2 Documentación Final          | A                     | I                                | I                                   | I                                     | I                             | I                            | I                              | I                                             | I                                          | I                                            | R                                      | R                                        |

**Fuente:** Elaboración propia

**R** (responsable de ejecutar), **A** (Aprobador/Rinde cuentas), **C** (Consultado) e **I** (Informado).

## 7.2.5. Gestión de interesados

### 7.2.5.1. Matriz de Clasificación e impacto de Interesados.

Se presenta la matriz que organiza a los interesados del proyecto según su nivel de poder, interés, impacto y el tipo de gestión requerida.

Tabla 16 Matriz clasificación e impacto de interesados

| Interesado                   | Poder | Interés | Estrategia de Gestión        | Justificación                                                                                                                            | Impacto Potencial                                                                                                                                                              |
|------------------------------|-------|---------|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Director de SCM</b>       | Alto  | Alto    | <b>Gestionar Atentamente</b> | Es el patrocinador (Sponsor). Necesita información detallada sobre el progreso, riesgos y el impacto financiero del modelo propuesto.    | <b>Positivo:</b> Aprobación de recursos y soporte político. <b>Negativo:</b> Presión por resultados financieros rápidos.                                                       |
| <b>Gerente de Transporte</b> | Alto  | Alto    | <b>Gestionar Atentamente</b> | Es el responsable directo de la operación (Dueño del Proceso). Debe aprobar la propuesta de modelo de ruteo y asignar recursos internos. | <b>Positivo:</b> Definición de criterios de éxito y participación en el diseño del modelo. <b>Negativo:</b> Resistencia al cambio en procesos internos si no se gestiona bien. |

| Interesado                                 | Poder | Interés | Estrategia de Gestión                   | Justificación                                                                                                                                                         | Impacto Potencial                                                                                                                                                         |
|--------------------------------------------|-------|---------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Personal Operativo (Transportistas)</b> | Bajo  | Alto    | <b>Mantener Informado</b>               | El cambio afecta directamente su trabajo diario y sus incentivos (jornada laboral, tiempos). Necesitan comunicación constante y formación práctica.                   | <b>Positivo:</b> Adopción del nuevo modelo y uso correcto del TMS.<br><b>Negativo:</b> Resistencia a cambiar rutas fijas y miedo a la pérdida de clientes/rutas.          |
| <b>Equipo de Planeación Logística</b>      | Medio | Alto    | <b>Mantener Informado / Involucrado</b> | Son los futuros usuarios directos del TMS. Su conocimiento operativo es crucial para el diseño del modelo. Involucrarlos en la identificación de requisitos es clave. | <b>Positivo:</b> Apoyo técnico en la recopilación de datos y pruebas de simulación. <b>Negativo:</b> Si la herramienta es compleja, puede haber rechazo o uso incorrecto. |
| <b>Equipo Comercial</b>                    | Medio | Medio   | <b>Mantener Satisfecho</b>              | Su principal interés es el Nivel de Servicio al cliente. La coordinación con                                                                                          | <b>Positivo:</b> Mejor coordinación con Logística (desconexión                                                                                                            |

Logística debe mejorar para asegurar que las ventas no se vean afectadas.

operativa actual).  
**Negativo:** Posible conflicto por la reasignación dinámica de clientes que antes eran "fijos" de una ruta/vendedor.

| Interesado                    | Poder | Interés | Estrategia de Gestión      | Justificación                                                                                                                                                       | Impacto Potencial                                                                                                                                 |
|-------------------------------|-------|---------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Equipo de TI</b>           | Alto  | Medio   | <b>Mantener Satisfecho</b> | Tienen el poder de vetar o ralentizar la integración de sistemas (R002). Su satisfacción se centra en la claridad de los requisitos técnicos y de seguridad (R006). | <b>Positivo:</b> Diseño de la infraestructura robusta y escalable. <b>Negativo:</b> Falta de recursos o priorización de otros proyectos internos. |
| <b>Clientes del Canal TaT</b> | Bajo  | Alto    | <b>Mantener Informado</b>  | No influyen directamente en la ejecución, pero su insatisfacción es la principal métrica de fracaso.                                                                | <b>Positivo:</b> Mayor satisfacción, lealtad y aumento potencial de la demanda. <b>Negativo:</b> Si                                               |

Necesitan ver la mejora del servicio.

la transición genera errores de entrega, impacta negativamente el nivel de servicio.

| Interesado           | Poder | Interés | Estrategia de Gestión | Justificación                                                                                                                                                                | Impacto Potencial                                                                                                                             |
|----------------------|-------|---------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CEO / Alta Dirección | Alto  | Bajo    | Mantener Satisfecho   | Su principal interés es la visión estratégica (sostenibilidad y finanzas). Los reportes deben ser concisos y enfocados en métricas de alto nivel (costo, impacto ambiental). | <b>Positivo:</b> Asignación de presupuesto e interés estratégico. <b>Negativo:</b> Si el ROI no es claro, el proyecto puede perder prioridad. |

**Fuente:** Elaboración propia

### Estrategias Iniciales de Gestión:

**Director de SCM y CEO:** Gestionar Atentamente (Monitoreo constante, reportes ejecutivos centrados en el ROI y sostenibilidad).

**Gerente de Transporte y Clientes:** Mantener Satisfecho (Comunicación continua sobre avances en indicadores clave: tiempo de entrega y eficiencia).

**Personal Operativo y Comercial:** Mantener Informado e Involucrado (Talleres y mesas de trabajo para validar los cambios y gestionar la resistencia al modelo dinámico).

#### 7.2.5.2. Plan de involucramiento de los interesados.

Para asegurar la transición exitosa del modelo de rutas fijas hacia un esquema de ruteo optimizado, es imperativo gestionar activamente las expectativas y el compromiso de todos los actores clave. El Plan de Involucramiento de los Interesados define las estrategias específicas para movilizar a los grupos de interés desde su nivel de participación actual hacia el nivel deseado para el éxito del proyecto. Este enfoque no solo busca mitigar la resistencia al cambio, especialmente en el personal operativo, sino también potenciar el apoyo de los niveles directivos y técnicos, garantizando que la solución diseñada sea adoptada de manera efectiva y sostenible en la operación de distribución secundaria de la compañía.

**TABLA 17 PLAN DE INVOLUCRAMIENTO DE LOS INTERESADOS**

| Interesado                | Estado Actual | Estado Deseado | Estrategia de Involucramiento                                                                |
|---------------------------|---------------|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Director de SCM (Sponsor) | Partidario    | Lidera         | Reportes de ahorro proyectado (Costo/Litro) y alineación con KPIs estratégicos.              |
| Gerente de Transporte     | Neutral       | Partidario     | Sesiones de diseño del modelo para asegurar que la solución sea operativa y no solo teórica. |

| Interesado                       | Estado Actual | Estado Deseado  | Estrategia de Involucramiento                                                                                      |
|----------------------------------|---------------|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Personal Operativo (Conductores) | Resistente    | Neutral / Apoya | Talleres de sensibilización sobre el equilibrio de carga para reducir la fatiga y mejorar la equidad en las rutas. |
| Equipo de TI                     | Neutral       | Apoya           | Definición clara de requerimientos técnicos y participación en el diseño de la arquitectura de datos (SAP/S21).    |
| Equipo Comercial                 | Neutral       | Partidario      | Demostración de cómo el ruteo optimizado mejora el cumplimiento entrega al cliente final (Nivel de Servicio).      |

**Fuente:** Elaboración propia

### 7.2.5.3. Matriz de comunicaciones resultante

Se presenta el plan de comunicación continua del proyecto, donde se detalla la información que será compartida, los públicos involucrados, los métodos utilizados, la frecuencia y los responsables de cada actividad. Este esquema permite mantener a todos los interesados informados y alineados durante las diferentes fases del proyecto.

**TABLA 18 MATRIZ DE COMUNICACIONES RESULTANTE**

| ¿Qué? (Mensaje / Información)                                                                                      | ¿Para Quién? (Audiencia)                  | ¿Cómo? (Método)                                         | ¿Cuándo? (Frecuencia)                | ¿Quién? (Responsable)                | Objetivo Principal                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| <b>Informe de Hallazgos y Diagnóstico</b> (Limitaciones del modelo fijo, impacto de la volatilidad de la demanda). | Director SCM, Gerente de Transporte, CEO. | Presentación Ejecutiva y Documento de Propuesta (Word). | Una única vez (Fase de Diagnóstico). | Investigadores / Líder del Proyecto. | Obtener la aprobación (Go/No-Go) para el diseño del modelo. |

| ¿Qué? (Mensaje / Información)                                                                                   | ¿Para Quién? (Audiencia)                                                     | ¿Cómo? (Método)                                                    | ¿Cuándo? (Frecuencia)                      | ¿Quién? (Responsable)                   | Objetivo Principal                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Reunión de Definición de Requisitos y Factores Técnicos.</b>                                                 | Gerente de Transporte, Equipo de Planeación, Equipo de TI, Equipo Comercial. | Reunión Sincrónica (Presencial/Virtual) con Acta.                  | Semanal (Fase de Planificación).           | Investigadores / Líder del Proyecto.    | Asegurar que la propuesta de solución es viable y cumple con las necesidades de todas las áreas.                        |
| <b>Boletín "Ruta Flexible".</b> (Avances, beneficios del modelo dinámico, gestión del cambio).                  | Personal Operativo (Transportistas), Equipo Comercial.                       | Correo Electrónico / Carteleras Físicas en Centro de Distribución. | Quincenal.                                 | Investigadores / Gerente de Transporte. | Gestionar la resistencia al cambio, promover la adopción del nuevo modelo y aclarar dudas sobre el equilibrio de carga. |
| <b>Reporte de Impacto Operativo y Financiero (KPI).</b> (Costo/Litro, Nivel de Servicio, Utilización de Flota). | Director SCM, CEO / Alta Dirección.                                          | Dashboard / Reporte Ejecutivo (Presentación de 10 diapositivas).   | Mensual (Fase de Ejecución y Seguimiento). | Investigadores / Gerente de Transporte. | Demostrar el valor y el Retorno de la Inversión (ROI) del proyecto.                                                     |
| <b>Sesiones de Capacitación y Uso del TMS.</b> (Uso correcto de la nueva herramienta de ruteo).                 | Personal Operativo (Transportistas), Equipo de Planeación Logística.         | Taller Práctico Presencial y Manuales de Usuario (R005).           | Según Hitos de Implementación.             | Equipo de TI / Proveedor TMS.           | Garantizar la correcta adopción de la herramienta y la eficiencia operativa (mitigar el riesgo de uso incorrecto).      |
| <b>Comunicado de Mejora del Servicio.</b> (Aviso de tiempos de                                                  | Clientes del Canal TaT.                                                      | Correo Masivo /                                                    | Inicio de la Operación del                 | Equipo Comercial / Gerente              | Reforzar la satisfacción del                                                                                            |

entrega más  
estables y  
puntuales).

Asesor  
Comercial.

Nuevo  
Modelo.

de  
Transpo  
rte.

cliente y la  
lealtad.

---

**Fuente:** Elaboración propia

Acciones de Involucramiento por fase:

**Fase de Diagnóstico:** Entrevistas grupales con transportistas para validar los puntos de dolor del modelo fijo.

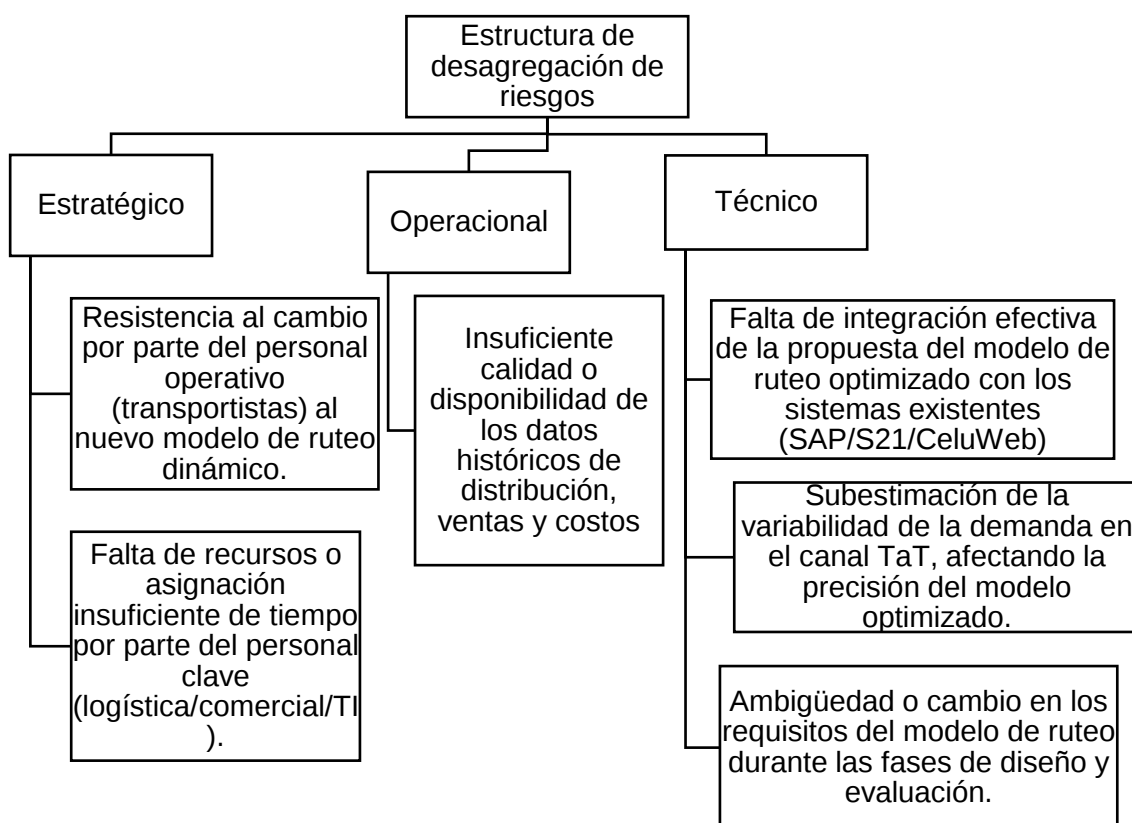
**Fase de Diseño:** Mesas técnicas con Planeación y TI para validar la lógica del nuevo modelo de asignación flexible.

**Fase de Evaluación:** Presentación de resultados de la simulación "As Is vs. To Be" para generar "compras" (buy-in) de la alta gerencia.

#### **7.2.6. Gestión de riesgos**

La implementación de cualquier modelo logístico innovador, como el que se propone para la optimización de rutas, conlleva riesgos inherentes, especialmente aquellos relacionados con la gestión del cambio, la calidad de los datos y la integración tecnológica. Por ello, se ha llevado a cabo una identificación y un análisis cualitativo exhaustivo de los riesgos potenciales que podrían impactar los objetivos, el alcance, el tiempo o el costo del proyecto. La Matriz de Riesgos a continuación formaliza estas amenazas, evaluando su probabilidad e impacto según la escala establecida por la organización, y define las estrategias de mitigación o contingencia necesarias para garantizar la continuidad del proyecto y el éxito en la entrega del modelo optimizado.

### 7.2.6.1. Estructura de desagregación de riesgos (RBS).



**Fuente:** Elaboración propia

### 7.2.6.2. Matriz de riesgos identificados.

**TABLA 19 MATRIZ DE RIESGOS IDENTIFICADOS**

| ID  | Descripción del Riesgo                                                                                     | Tipo        | Categoría           | Disparador/Indicio                                                                                              |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| R01 | Resistencia al cambio por parte del personal operativo (transportistas) al nuevo modelo de ruteo dinámico. | Estratégico | Humano / Adopción   | Quejas recurrentes, baja participación en talleres de validación, solicitudes de mantenimiento del modelo fijo. |
| R02 | Insuficiente calidad o disponibilidad de los datos históricos de distribución, ventas y costos.            | Operacional | Datos / Información | Datos incompletos, inconsistentes, falta de registros de georreferenciación o datos de costo.                   |

| ID  | Descripción del Riesgo                                                                                                     | Tipo        | Categoría               | Disparador/Indicio                                                                                                           |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| R03 | Falta de integración efectiva de la propuesta del modelo de ruteo optimizado con los sistemas existentes (SAP/S21/CeluWeb) | Técnico     | Tecnología / Sistemas   | Errores en la extracción/carga de datos, rechazo del equipo de TI por complejidad, incompatibilidad de formatos.             |
| R04 | Subestimación de la variabilidad de la demanda en el canal TaT, afectando la precisión del modelo optimizado.              | Técnico     | Planificación / Mercado | Fallo en la simulación al replicar escenarios extremos, retroalimentación del comercial sobre supuestos irreales.            |
| R05 | Falta de recursos o asignación insuficiente de tiempo por parte del personal clave (logística/comercial/TI).               | Estratégico | Recursos / Stakeholders | Retrasos en la entrega de información, inasistencia a reuniones, falta de respuestas a consultas.                            |
| R06 | Ambigüedad o cambio en los requisitos del modelo de ruteo durante las fases de diseño y evaluación.                        | Técnico     | Requisitos              | Solicitudes de cambio tardías, desacuerdos entre stakeholders sobre la funcionalidad, falta de claridad en las expectativas. |

**Fuente:** Elaboración propia

### 7.2.6.3. Matriz de probabilidad e impacto.

Previo al desarrollo del plan de respuesta a riesgos, se establece la Matriz de Probabilidad e Impacto como herramienta fundamental para el análisis cualitativo. Esta matriz permite clasificar los riesgos identificados, como la resistencia al cambio o la complejidad de la integración de sistemas, asignando una calificación de Bajo, Medio o Alto a la probabilidad de ocurrencia y al impacto que tendrían sobre los objetivos del proyecto. La combinación de estas variables determina el Nivel de Riesgo (Bajo, Medio, Alto o Crítico), facilitando la priorización de

los esfuerzos de mitigación y la asignación eficiente de recursos para la gestión de las amenazas más significativas.

**Probabilidad:**

Rara vez= 1- Eventual= 2- Moderado= 3- Frecuente= 4- Muy frecuente= 5

**Impacto:**

Menor=1- Bajo moderado= 5- Moderado= 20- Mayor= 50- Catastrófico= 100

**TABLA 20 MATRIZ DE PROBABILIDAD E IMPACTO**

| ID  | Descripción del Riesgo                                                                                                         | Tipo        | Categoría             | Disparador/Indicador                                                                                             | Probabilidad | Impacto | Calificación |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------|--------------|
| R01 | Resistencia al cambio por parte del personal operativo (transportistas) al nuevo modelo de ruteo dinámico.                     | Estratégico | Humano / Adopción     | Quejas recurrentes, baja participación en talleres de validación, solicitudes de mantenimiento del modelo fijo.  | 5            | 50      | 250          |
| R02 | Insuficiente calidad o disponibilidad de los datos históricos de distribución, ventas y costos.                                | Operacional | Datos / Información   | Datos incompletos, inconsistentes, falta de registros de georreferenciación o datos de costo.                    | 3            | 50      | 150          |
| R03 | Falta de integración efectiva de la propuesta del modelo de ruteo optimizado con los sistemas existentes (SAP/S21/Celular Web) | Técnico     | Tecnología / Sistemas | Errores en la extracción/carga de datos, rechazo del equipo de TI por complejidad, incompatibilidad de formatos. | 3            | 50      | 150          |

| <i>ID</i> | <i>Descripción del Riesgo</i>                                                                                   | <i>Tipo</i> | <i>Categoría</i>        | <i>Disparador/Indicador</i>                                                                                                  | <i>Probabilidad</i> | <i>Impacto</i> | <i>Calificación</i> |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------|---------------------|
| R04       | Subestimación de la variabilidad de la demanda en el canal TaT, afectando la precisión del modelo optimizado.   | Técnico     | Planificación / Mercado | Fallo en la simulación al replicar escenarios extremos, retroalimentación del comercial sobre supuestos irreales.            | 2                   | 5              | 10                  |
| R05       | Falta de recursos o asignación insuficiente de tiempo por parte del personal clave de (logística/comercial/TI). | Estratégico | Recursos / Stakeholders | Retrasos en la entrega de información, inasistencia a reuniones, falta de respuestas a consultas.                            | 3                   | 20             | 60                  |
| R06       | Ambigüedad o cambio en los requisitos del modelo de ruteo durante las fases de diseño y evaluación.             | Técnico     | Requisitos              | Solicitudes de cambio tardías, desacuerdos entre stakeholders sobre la funcionalidad, falta de claridad en las expectativas. | 2                   | 5              | 10                  |

**Fuente:** Elaboración propia

Previo al desarrollo del plan de respuesta a riesgos, se establece la Matriz de Probabilidad e Impacto como herramienta fundamental para el análisis cualitativo. Esta matriz permite clasificar los riesgos identificados, como la resistencia al cambio o la complejidad de la integración de sistemas, asignando una calificación de Bajo, Medio o Alto a la probabilidad de

ocurrencia y al impacto que tendrían sobre los objetivos del proyecto. La combinación de estas variables determina el Nivel de Riesgo (Bajo, Medio, Alto o Crítico), facilitando la priorización de los esfuerzos de mitigación y la asignación eficiente de recursos para la gestión de las amenazas más significativas.

**TABLA 21 MAPA DE CALOR DE PROBABILIDAD E IMPACTO**

| ID  | Descripción del Riesgo                                                                                                     | Tipo        | Categoría               | Disparador/Indicio                                                                                                | Probabilidad | Impacto | Calificación |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------|--------------|
| R01 | Resistencia al cambio por parte del personal operativo (transportistas) al nuevo modelo de ruteo dinámico.                 | Estratégico | Humano / Adopción       | Quejas recurrentes, baja participación en talleres de validación, solicitudes de mantenimiento del modelo fijo.   | 5            | 50      | 250          |
| R02 | Insuficiente calidad o disponibilidad de los datos históricos de distribución, ventas y costos.                            | Operacional | Datos / Información     | Datos incompletos, inconsistentes, falta de registros de georreferenciación o datos de costo.                     | 3            | 50      | 150          |
| R03 | Falta de integración efectiva de la propuesta del modelo de ruteo optimizado con los sistemas existentes (SAP/S21/CeluWeb) | Técnico     | Tecnología / Sistemas   | Errores en la extracción/carga de datos, rechazo del equipo de TI por complejidad, incompatibilidad de formatos.  | 4            | 50      | 200          |
| R04 | Subestimación de la variabilidad de la demanda en el canal TaT, afectando la precisión del modelo optimizado.              | Técnico     | Planificación / Mercado | Fallo en la simulación al replicar escenarios extremos, retroalimentación del comercial sobre supuestos irreales. | 5            | 50      | 250          |

| ID  | Descripción del Riesgo                                                                                          | Tipo        | Categoría               | Disparador/Indicio                                                                                                           | Probabilidad | Impacto | Calificación |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------|--------------|
| R05 | Falta de recursos o asignación insuficiente de tiempo por parte del personal clave de (logística/comercial/TI). | Estratégico | Recursos / Stakeholders | Retrasos en la entrega de información, inasistencia a reuniones, falta de respuestas a consultas.                            | 3            | 20      | 60           |
| R06 | Ambigüedad o cambio en los requisitos del modelo de ruteo durante las fases de diseño y evaluación.             | Técnico     | Requisitos              | Solicitudes de cambio tardías, desacuerdos entre stakeholders sobre la funcionalidad, falta de claridad en las expectativas. | 2            | 20      | 40           |

**Fuente:** Elaboración propia

**TABLA 22 RESUMEN RANGO DE COLORES**

| Color    | Rango     | Nivel   |
|----------|-----------|---------|
| Verde    | 1 a 40    | Leve    |
| Amarillo | 40 a 150  | Medio   |
| Naranja  | 200 a 300 | Crítico |
| Rojo     | ≥400      | Severo  |

**Fuente:** Elaboración propia

#### 7.2.6.4. Estrategias de respuesta ante riesgos.

**TABLA 23 ESTRATEGIAS DE RESPUESTA ANTE RIESGOS**

| ID  | Descripción del Riesgo                                                                                     | Estrategia de Respuesta | Plan de prevención                                                                                                                                                                    | Plan de Contingencia                                                                                                                                      | Responsable                                         | Estado  | Seguimiento |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------|-------------|
| R01 | Resistencia al cambio por parte del personal operativo (transportistas) al nuevo modelo de ruteo dinámico. | Mitigar                 | Plan de gestión del cambio (comunicaciones transparentes, talleres participativos, demostraciones de beneficios tangibles para el personal, énfasis en el equilibrio de carga).       | Implementar un piloto gradual en una zona específica, ofrecer incentivos a los primeros adoptantes, sesiones de soporte personalizadas.                   | Gerente de Transporte / Líder del Proyecto          | Abierto | Semanal     |
| R02 | Insuficiente calidad o disponibilidad de los datos históricos de distribución, ventas y costos.            | Aceptar                 | Definir claramente el alcance de la recolección de datos, validar fuentes de información, realizar pruebas piloto de extracción y limpieza de datos, involucrar a TI desde el inicio. | Recopilación manual de datos críticos (costosa en tiempo), usar datos proxy si es posible, ajustar el alcance del modelo si la falta de datos es crítica. | Líder del Proyecto / Equipo de Planeación Logística | Abierto | Quincenal   |

| ID  | Descripción del Riesgo                                                                                                     | Estrategia de Respuesta | Plan de prevención                                                                                                                                          | Plan de Contingencia                                                                                                                                                                                         | Responsable                                         | Estado  | Seguimiento |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------|-------------|
| R03 | Falta de integración efectiva de la propuesta del modelo de ruteo optimizado con los sistemas existentes (SAP/S21/CeluWeb) | Mitigar                 | Involucrar al equipo de TI desde las fases tempranas, definir interfaces claras y estándares de integración, documentar requisitos técnicos (R002, R011).   | Priorizar las integraciones más críticas, desarrollar soluciones temporales o manuales para datos menos prioritarios, ajustar el diseño del modelo para minimizar la dependencia de integraciones complejas. | Líder del Proyecto / Equipo de TI                   | Abierto | Mensual     |
| R04 | Subestimación de la variabilidad de la demanda en el canal TaT, afectando la precisión del modelo optimizado.              | Mitigar                 | Realizar un análisis estadístico robusto de la demanda histórica (variabilidad, estacionalidad), validar los supuestos del modelo con expertos comerciales. | Recalibrar el modelo con nuevos parámetros de demanda, realizar iteraciones adicionales de simulación, comunicar las limitaciones de la predicción de demanda al equipo comercial.                           | Líder del Proyecto / Equipo de Planeación Logística | Abierto | Mensual     |

| ID  | Descripción del Riesgo                                                                                       | Estrategia de Respuesta | Plan de prevención                                                                                                                                                                                         | Plan de Contingencia                                                                                                                   | Responsable                                 | Estado  | Seguimiento |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------|-------------|
| R05 | Falta de recursos o asignación insuficiente de tiempo por parte del personal clave (logística/comercial/TI). | Mitigar                 | Obtener el compromiso formal de los gerentes de área para la asignación de tiempo de su personal, definir un plan de comunicación claro, programar reuniones estratégicamente.                             | Escalar el problema al director SCM (Sponsor), reprogramar actividades, documentar la dependencia del recurso.                         | Líder del Proyecto / Sponsor (director SCM) | Abierto | Semanal     |
| R06 | Ambigüedad o cambio en los requisitos del modelo de ruteo durante las fases de diseño y evaluación.          | Mitigar                 | Realizar sesiones de levantamiento de requisitos estructuradas, documentar todas las decisiones y supuestos, obtener la aprobación formal de los stakeholders sobre los requisitos (Matriz de Requisitos). | Implementar un proceso formal de control de cambios, evaluar el impacto de cada cambio en tiempo y costo, comunicar las implicaciones. | Líder del Proyecto / Gerente de Transporte  | Abierto | Semanal     |

**Fuente:** Elaboración propia

### 7.2.6.5. Matriz resultante

**TABLA 24 MATRIZ RESULTANTE**

| ID   | Descripción del Riesgo                                                                                                     | Tipo        | Categoría               | Disparador/Indicio                                                                                                           | Pro<br>babi<br>lida<br>d | Im<br>p<br>a<br>c<br>t<br>o | Calificaci<br>ón |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------|
| R 01 | Resistencia al cambio por parte del personal operativo (transportistas) al nuevo modelo de ruteo dinámico.                 | Estratégico | Humano / Adopción       | Quejas recurrentes, baja participación en talleres de validación, solicitudes de mantenimiento del modelo fijo.              | 3                        | 20                          | 60               |
| R 02 | Insuficiente calidad o disponibilidad de los datos históricos de distribución, ventas y costos.                            | Operacional | Datos / Información     | Datos incompletos, inconsistentes, falta de registros de georreferenciación o datos de costo.                                | 3                        | 20                          | 60               |
| R 03 | Falta de integración efectiva de la propuesta del modelo de ruteo optimizado con los sistemas existentes (SAP/S21/CeluWeb) | Técnico     | Tecnología / Sistemas   | Errores en la extracción/carga de datos, rechazo del equipo de TI por complejidad, incompatibilidad de formatos.             | 3                        | 50                          | 150              |
| R 04 | Subestimación de la variabilidad de la demanda en el canal TaT, afectando la precisión del modelo optimizado.              | Técnico     | Planificación / Mercado | Fallo en la simulación al replicar escenarios extremos, retroalimentación del comercial sobre supuestos irreales.            | 3                        | 50                          | 150              |
| R 05 | Falta de recursos o asignación insuficiente de tiempo por parte del personal clave de (logística/comercial/TI).            | Estratégico | Recursos / Stakeholders | Retrasos en la entrega de información, inasistencia a reuniones, falta de respuestas a consultas.                            | 2                        | 20                          | 40               |
| R 06 | Ambigüedad o cambio en los requisitos del modelo de ruteo durante las fases de diseño y evaluación.                        | Técnico     | Requisitos              | Solicitudes de cambio tardías, desacuerdos entre stakeholders sobre la funcionalidad, falta de claridad en las expectativas. | 2                        | 5                           | 10               |

**Fuente:** Elaboración propia

### **Lecciones Aprendidas**

El desarrollo de este proyecto permitirá identificar un conjunto de aprendizajes relevantes tanto desde la perspectiva técnica como desde la gestión integral de operaciones logísticas, los cuales constituyen un aporte significativo para futuras implementaciones en contextos similares.

Se evidenció que la rigidez en los modelos tradicionales de ruteo representa una de las principales fuentes de ineficiencia en la distribución de última milla. La asignación fija de clientes a rutas, si bien simplifica la operación desde el punto de vista administrativo, limita considerablemente la capacidad de adaptación frente a la variabilidad de la demanda. Este hallazgo refuerza la necesidad de migrar hacia esquemas dinámicos o semi dinámicos que permitan una mejor utilización de los recursos y una mayor flexibilidad operativa.

Adicionalmente, se evidenció que la optimización de rutas no debe abordarse de manera aislada, sino como parte de un sistema logístico integral. Factores como la coordinación interáreas (comercial, logística y marketing), la planificación de la demanda y la gestión de la capacidad vehicular influyen directamente en el desempeño del modelo de ruteo. En este sentido, la implementación de soluciones tecnológicas como los sistemas de gestión de transporte (TMS) requiere una visión sistémica que garantice la integración de procesos y la alineación estratégica.

La transición de un esquema tradicional a uno optimizado implica no solo cambios tecnológicos, sino también culturales y organizacionales. Por lo tanto, es fundamental contemplar estrategias de gestión del cambio, capacitación y sensibilización del personal como parte integral de la implementación.

Finalmente, el proyecto permitió reconocer que la optimización logística no solo genera beneficios económicos y operativos, sino también impactos positivos en términos

ambientales y de sostenibilidad. La mejora en la utilización de la flota y la reducción de recorridos innecesarios contribuyen a disminuir el consumo de combustible y las emisiones de gases de efecto invernadero, alineando la operación con tendencias globales de responsabilidad ambiental.

## Conclusiones

**Ineficiencia del Modelo Actual:** A partir del diagnóstico realizado, se logra evidenciar que el modelo de rutas fijas actualmente utilizado no funciona de manera eficiente, generando desequilibrios de carga entre vehículos y un incremento en el costo por litro movilizado, lo cual justifica la necesidad de evaluar alternativas de planeación más flexibles.

**Viabilidad Técnica del Modelo Propuesto:** De acuerdo con el análisis desarrollado, el diseño del Modelo de Ruteo Optimizado resulta técnicamente viable, al integrarse con los sistemas existentes (SAP/S21) y herramientas de tipo TMS, permitiendo proyectar una transición desde una planeación estática hacia un esquema semi dinámico, más flexible y eficiente.

**Impacto Operativo Proyectado:** La implementación de una lógica de asignación flexible permitiría optimizar la capacidad de la flota, reduciendo el kilometraje en vacío y asegurando que la jornada laboral de los conductores se mantenga dentro de los límites legales y de salud ocupacional.

**Beneficio Económico Potencial:** Los resultados obtenidos a partir de los estudios y análisis, indican que el modelo propuesto tiene el potencial de generar reducciones significativas en los costos operativos de distribución, así como mejoras en el nivel de servicio al cliente, en caso de ser implementado en una fase posterior.

**Proyección para Fases Futuras:** Finalmente, esta investigación constituye una base metodológica para el desarrollo de una segunda fase orientada a la implementación y validación del modelo en un entorno real, lo cual permitirá contrastar los resultados proyectados con datos operativos efectivos y fortalecer la toma de decisiones estratégicas de la organización.

## **Recomendaciones**

**Implementación de Piloto Controlado:** Antes de un despliegue total, realizar un piloto de 30 días en una zona geográfica con alta densidad de clientes para calibrar los algoritmos de ruteo frente a variables reales de tráfico y tiempos de servicio.

**Gestión del Cambio Continua:** Desarrollar un programa de incentivos para el personal operativo que premie la adopción tecnológica y el cumplimiento de las nuevas rutas sugeridas por el sistema.

**Gobernanza de Datos:** Establecer un protocolo estricto de limpieza y actualización de datos maestros (georreferenciación de clientes), ya que la precisión del modelo de ruteo depende directamente de la calidad de la información ingresada.

**Monitoreo Post-Implementación:** Configurar un tablero de control (Dashboard) en tiempo real que compare los KPIs de la ruta optimizada frente a los históricos, permitiendo ajustes rápidos ante desviaciones en el costo o nivel de servicio.

**Escalabilidad Tecnológica:** Evaluar, en una segunda fase, la incorporación de inteligencia artificial para la predicción de demanda estacional, lo que permitiría al modelo de ruteo anticiparse a picos de venta con mayor precisión.

**Escalabilidad Vertical:** Como una segunda etapa de evolución del modelo propuesto, se recomienda incorporar al tendero o cliente final como uno de los stakeholders principales dentro del proceso de diseño, seguimiento y mejora continua de la operación de distribución. Si bien la presente investigación se enfocó en la optimización operativa y financiera de las rutas, futuras investigaciones podrían profundizar en la medición del impacto que estas mejoras generan sobre la experiencia del cliente y la disponibilidad del producto en el punto de venta. Para ello, se sugiere implementar indicadores orientados al

abastecimiento, tales como porcentaje de agotados, nivel de disponibilidad de producto, frecuencia de quiebres de inventario y nivel de servicio percibido por el cliente.

La integración de estos indicadores permitirá evaluar de manera integral los beneficios del modelo de ruteo optimizado, garantizando que las eficiencias logísticas obtenidas se traduzcan también en una mejora tangible para el mercado atendido y en una mayor competitividad para la compañía.

## Bibliografía.

Daza, J. M., Montoya, J. R., & Narducci, F. (2009). *Resolución del problema de enrutamiento de vehículos con limitaciones de capacidad utilizando un procedimiento metaheurístico de dos fases*. *Revista EIA*, (12), 23–38.

Mora García, L. A. (2014). *Logística del transporte y distribución de carga* (1.<sup>a</sup> ed.). Bogotá: Ecoe Ediciones. Recuperado de <https://elibro.net/es/ereader/unipiloto/96911?page=6>

Giraldo I, Flórez A. (2019). *Diseño de rutas de distribución en el canal TaT mediante sistema dinámico de ruteo aplicado al grupo empresarial DM&E en la zona urbana del municipio de la Dorada (Caldas)*. Tesis de pregrado, Universidad Piloto de Colombia.

Sanabria, J. (2018). *Optimización de la programación de rutas de distribución secundaria en una empresa de consumo masivo en Colombia*. Tesis de maestría, Universidad de la Sabana

15 diciembre 2023, *Transportar aire: el silencioso problema del transporte y distribución*. Revista Logistec. <https://www.revistalogistec.com/logistica/transporte/5293-transportar-aire-el-silencioso-problema-del-transporte-y-distribucion>

Meneses Rodríguez, L y Vidal Pérez, J. (2022). Impacto de un modelo de ruteo inteligente sobre los tiempos de distribución urbana de mercancías en la última milla. (trabajo de grado - maestría). Universidad Autónoma de Occidente. Recuperado de <https://hdl.handle.net/10614/14513>.

Zapata, JA, Vélez, AR, & Arango, MD. (2020). Mejora del proceso de distribución en una empresa de transporte. *Scielo*, 2(2), 34–45. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2448-76782020000200008&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2448-76782020000200008&script=sci_arttext)

Zapata-Cortés, J. A., Vélez-Bedoya, Á. R., & Arango-Serna, M. D. (2020). Mejora del proceso de distribución en una empresa de transporte. *Investigación Administrativa*, 49(126), 40–67. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2448-76782020000200008](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-76782020000200008)

Combes, F., Combes, M., & Faul, N. (2024). Optimizing freight delivery routes: The time-distance dilemma. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 190, 104283. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965856424003318>

Mardesic N., Erdelić, T., Carić, T., & Đurasević, M. (2024). Review of stochastic dynamic vehicle routing in the evolving urban logistics environment. *Mathematics*, 12(1), 28. <https://www.mdpi.com/2227-7390/12/1/28>

Hernández, F., Sotelo, R., & Forets, M. (2024). Algoritmos de optimización para secuenciación adaptativa de rutas reales en entregas de última milla. *Ingenius, Revista de Ciencia y Tecnología*, (31), 64–80. [http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1390-860X2024000100064](http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-860X2024000100064)

Blanco González, J., García Jiménez, B., Sánchez Rivero, M. S., & Sánchez Carol, F. D. (2024). Optimización y trazabilidad de rutas en el proceso de distribución de la cadena logística de Correos de Cuba. *Ingeniería Industrial*, 45(2), 1–14. <https://www.evisapub.com/ojs/index.php/ingeind/article/view/4606>

Li, L. (2020). Logistics path optimization based on cognitive psychology and consumers' psychological preference of wait time. *Revista Argentina de Clínica Psicológica*, 29(5).

Fricongelados Citlaltépetl. (s.f.). Optimización de la logística de distribución de helados mediante simulación y el problema del agente viajero. *Revista de la Ingeniería Industrial*. PDHTTech, LLC.

Memorias del Congreso Internacional de Investigación Academia Journals. (2017). Optimización de rutas de distribución con el software ActiRuta Inelcan. *Academia Journals, Los Mochis 2017*, 1–7.

López-Ayala, C. A., Jurado-Valbuena, W., & López-Santana, E. R. (2021). Ingeniería, 26(3), 436–449

Cadena González, R. A. (2019). Problemas de optimización en la gestión logística de distribución: una revisión de literatura del problema de ruteo de vehículos (VRP). Universidad Pontificia Bolivariana. <https://repository.upb.edu.co/items/04920ad2-0b6d-4fd2-9eb9-148083426e09>

Cabrales-Navarro, P. A., Arias-Osorio, J. E., & Camacho-Pinto, J. C. (2023). El problema de localización y ruteo con múltiples objetivos: una revisión de literatura. *Ingeniería*, 28(2). [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0121-750X2023000200202](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-750X2023000200202)

Estupiñán Castaño, L. F. (2024). Optimización del ruteo de vehículos en la distribución de la última milla con ventanas de tiempo (VRPTW). Universidad ECCI. [https://repositorio.ecci.edu.co/entities/publication/6078d753-9af1-4cbc-886b-173a2901b137?utm\\_sourc...](https://repositorio.ecci.edu.co/entities/publication/6078d753-9af1-4cbc-886b-173a2901b137?utm_sourc...)

Martínez Vega, J. L., Vega Honores, F. E., & Cárdenas Escobar, N. (2020). Optimización del ruteo de vehículos para la distribución de una empresa fabricante de bebidas en la ciudad de Quito. ESPOL. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/52008>

González, E. (2023). Ruteo dinámico: clave en la planificación de rutas logísticas. *La Nota Económica*. Ruteo dinámico, ¿por qué es clave en la planificación de rutas logísticas? La Nota Económica

## **Glosario.**

### **Canal TaT (Tienda a Tienda).**

Modalidad de distribución en la que los productos son entregados directamente a pequeños comercios minoristas, caracterizada por alta frecuencia de visitas y pedidos de bajo volumen.

### **Distribución secundaria (T2).**

Etapa de la cadena logística encargada del transporte desde los centros de distribución hasta los puntos de venta finales o clientes minoristas.

### **Modelo de ruteo optimizado.**

Estrategia o conjunto de algoritmos que buscan determinar las rutas más eficientes para una flota de vehículos, considerando variables como capacidad, demanda, tiempos y costos operativos.

### **Rutas fijas.**

Esquema de distribución en el cual cada vehículo tiene asignado un conjunto constante de clientes y recorridos, sin ajustes frente a cambios en la demanda o condiciones operativas.

### **Nivel de servicio (NISE).**

Indicador logístico que mide el grado de cumplimiento del pedido despachado V.S el solicitado por el cliente.

### **Nivel de rechazo.**

Indicador que mide el nivel de productos devueltos o rechazados durante el proceso de distribución o entrega, debido a causas como errores en el pedido, daños, incumplimiento en las condiciones de entrega o rechazo por parte del cliente.

**TMS (Transportation Management System).**

Sistema de gestión del transporte que permite planificar, ejecutar y optimizar el movimiento de mercancías, integrando información sobre rutas, vehículos, pedidos y costos.

**KPI (Key Performance Indicators).**

Indicadores clave de desempeño que miden la eficacia de un proceso o sistema; en logística, suelen incluir tiempos de entrega, utilización de flota, costos por litro movilizado y nivel de servicio.

**Georreferenciación.**

Proceso de asociar coordenadas geográficas a ubicaciones específicas (clientes, puntos de entrega, rutas) para su representación en sistemas digitales de ruteo o seguimiento.

**Modelo de ruteo dinámico.**

Esquema flexible de planificación que permite reasignar clientes o pedidos en tiempo real según cambios en la demanda, condiciones de tráfico o disponibilidad vehicular.

**Última milla.**

Fase final del proceso logístico en la que se realiza la entrega del producto al cliente o punto de venta; suele ser la más costosa y compleja por su dispersión y variabilidad.

**Demanda variable.**

Fluctuación en los volúmenes de pedidos o consumo en un periodo determinado, afectada por factores estacionales, promociones, comportamiento del consumidor o condiciones del mercado.

**Costo por litro movilizado.**

Indicador financiero que mide la eficiencia del transporte, calculado como la relación entre el costo total de distribución y el volumen de producto entregado.

**Stakeholders (Interesados).**

Personas, grupos o entidades que pueden afectar o verse afectadas por el desarrollo o resultados de un proyecto; incluyen clientes, directivos, empleados, proveedores y autoridades.