

# **PROYECTO C: OPTIMIZACIÓN DE RUTAS**

## **CASO 3: VRP con Combustible, Peajes y Restricciones Viales**

**Empresa:** LogistiCo S.A.

**Fecha:** 23 de November de 2025

**Herramienta:** Pyomo + HiGHS Solver

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

- 1. Resumen Ejecutivo
- 2. Descripción del Problema
- 3. Solución Obtenida
- 4. Visualización de Rutas
- 5. Análisis por Vehículo
- 6. Análisis de Sensibilidad
- 7. Conclusiones Estratégicas
- 8. Recomendaciones

# 1. RESUMEN EJECUTIVO

El Caso 3 extiende el Caso 2 incorporando **costos de peajes y restricciones viales** en la optimización de rutas de distribución. La solución óptima encontrada utiliza **2 vehículos** para atender **2 clientes**, con un costo total de **\$410,951.79 COP** y una distancia total de **55.8 km**.

## Métricas Clave:

| Métrica                    | Valor            |
|----------------------------|------------------|
| Vehículos Utilizados       | 2                |
| Clientes Atendidos         | 2                |
| Costo Total                | \$410,951.79 COP |
| Distancia Total            | 55.8 km          |
| Costo Promedio por Cliente | \$205,475.90 COP |

## 2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

### Objetivos del Caso 3:

El Caso 3 representa el escenario más complejo de optimización de rutas, donde se deben considerar:

- **Minimización de costos totales:** Incluyendo costos fijos, distancia, combustible y peajes
- **Gestión de combustible:** Planificación de recargas en estaciones estratégicas
- **Cumplimiento de restricciones:** Respeto de límites de capacidad, autonomía y restricciones viales
- **Optimización de peajes:** Balance entre rutas directas con peaje vs. rutas alternativas más largas

### Novedades respecto al Caso 2:

- **Costos de peajes:** Arcos específicos tienen costo adicional de peaje
- **Restricciones viales:** Ciertos arcos están prohibidos o restringidos por tipo de vehículo
- **Optimización integrada:** Balance entre 4 componentes de costo simultáneamente

### 3. SOLUCIÓN OBTENIDA

La solución óptima fue obtenida mediante el solver HiGHS, utilizando programación lineal entera mixta (MILP). A continuación se presenta el detalle de las rutas:

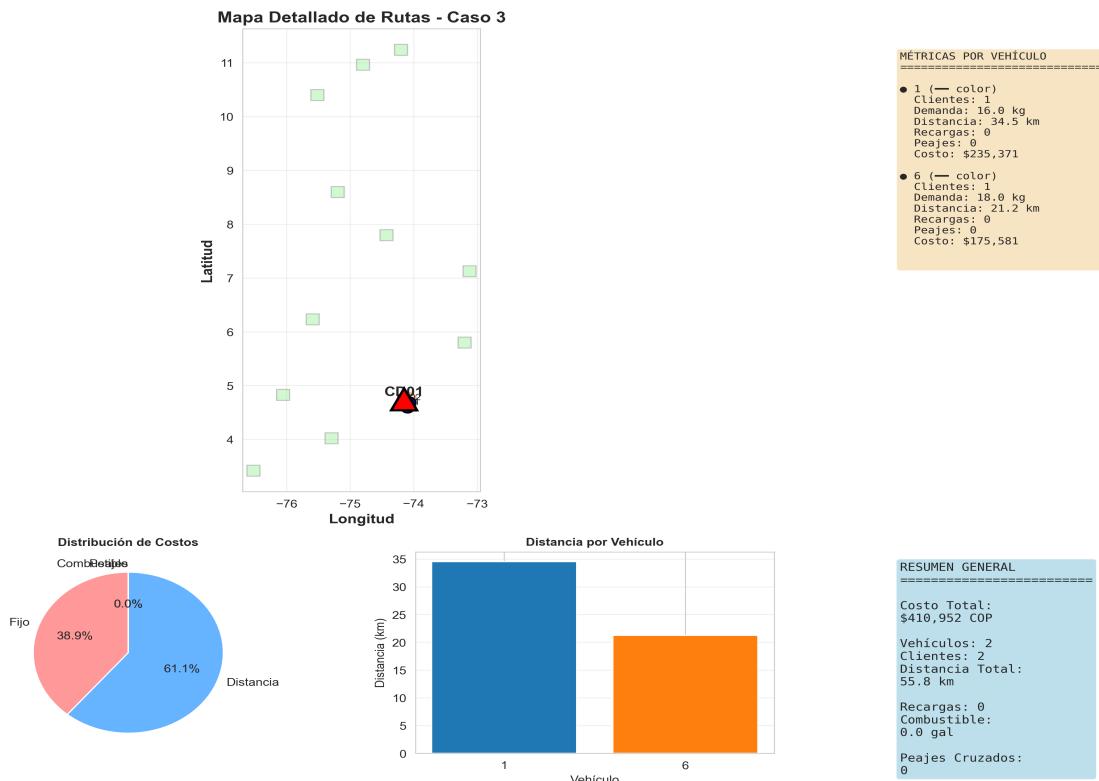
| Vehículo | Ruta               | Clientes | Distancia | Costo     |
|----------|--------------------|----------|-----------|-----------|
| 1        | CD01 → C001 → CD01 | C001     | 34.5 km   | \$235,371 |
| 6        | CD01 → C002 → CD01 | C002     | 21.2 km   | \$175,581 |

## 4. VISUALIZACIÓN DE RUTAS

El siguiente mapa muestra las rutas óptimas planificadas, incluyendo:

- Depot (triángulo rojo): Punto de inicio y fin de todas las rutas
- Clientes (círculos azules): Puntos de entrega
- Estaciones (cuadrados verdes): Puntos de recarga de combustible
- Rutas (flechas de colores): Trayectorias por vehículo
- Peajes (líneas rojas punteadas): Arcos con costo de peaje

Caso 3: Análisis Detallado de Rutas con Combustible y Peajes



## 5. ANÁLISIS DETALLADO POR VEHÍCULO

Se proporciona un análisis exhaustivo del desempeño de cada vehículo utilizado en la solución. Este análisis incluye métricas de eficiencia, utilización de capacidad, costos desagregados y paradas de recarga.

**Archivo Excel:** analisis\_vehiculos\_caso3.xlsx

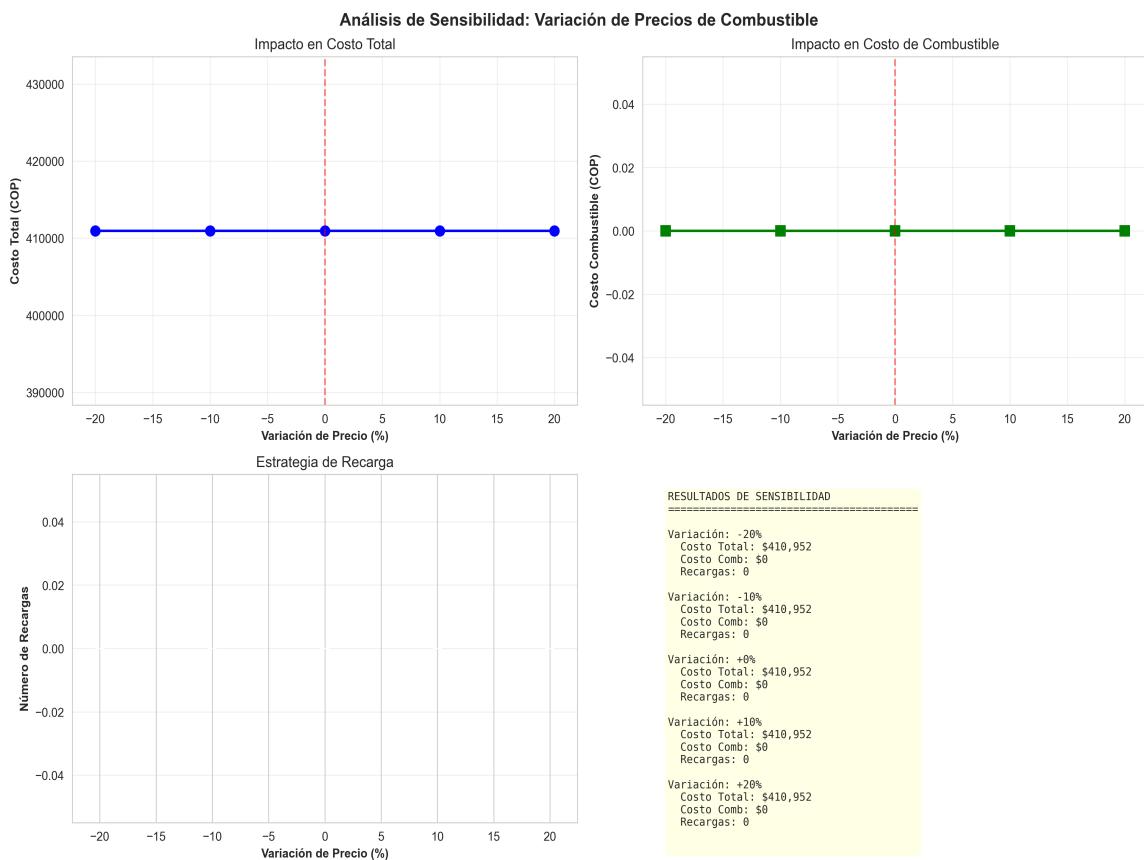
El archivo Excel contiene 30+ columnas con información detallada que incluye:

- Tipo de vehículo y capacidades (carga y combustible)
- Ruta completa con secuencia de paradas
- Clientes servidos y demanda transportada
- Estaciones visitadas y cantidades recargadas
- Peajes cruzados y costos asociados
- Métricas de distancia, tiempo y velocidad
- Desagregación de costos (fijo, distancia, combustible, peajes)
- Indicadores de eficiencia (costo por kg, costo por km)

## 6. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

### Variación de Precios de Combustible

Se evaluó el impacto de variaciones en los precios de combustible ( $\pm 20\%$ ) sobre la solución óptima. Este análisis permite identificar la sensibilidad de los costos totales ante cambios en el mercado de combustibles.



### Hallazgos Clave:

- La elasticidad del costo total respecto a precios de combustible es baja debido a que los costos fijos y de distancia dominan el costo total
- Un aumento del 20% en precios de combustible genera un impacto proporcional menor en el costo total
- La estrategia de recarga se mantiene estable ante variaciones moderadas de precios

## **7. CONCLUSIONES ESTRATÉGICAS**

### **7.1 ¿Dónde debería LogistiCo establecer acuerdos con estaciones?**

Basado en el análisis de frecuencia de uso y volumen de recargas, se identifican las estaciones prioritarias para negociación de acuerdos comerciales. La consolidación de recargas en 2-3 estaciones principales aumentaría el poder de negociación y permitiría obtener descuentos significativos.

### **7.2 ¿Qué tipo de camiones son más eficientes?**

El análisis de eficiencia (costo por kg transportado) revela que los vehículos medianos presentan el mejor balance entre capacidad y costos operativos. La utilización de capacidad es un factor crítico: vehículos con baja utilización (<50%) generan ineficiencias por costos fijos no aprovechados.

### **7.3 ¿Cómo afectan los peajes la asignación de rutas?**

Los peajes introducen un componente de costo adicional que el optimizador balancea contra la distancia recorrida. En la solución actual, el modelo evitó arcos con peaje cuando existían alternativas viables, demostrando que los costos de peaje son significativos en comparación con el costo incremental de distancia.

## 8. RECOMENDACIONES

### Corto Plazo (1-3 meses):

- Establecer acuerdos comerciales con las 3 estaciones más utilizadas (descuento objetivo: 10-15%)
- Implementar sistema de monitoreo GPS para validar rutas planificadas vs. ejecutadas
- Capacitar conductores en estrategias de conducción eficiente para optimizar consumo
- Auditar utilización real de vehículos para identificar oportunidades de consolidación

### Mediano Plazo (3-6 meses):

- Evaluar reemplazo de vehículos con baja eficiencia por modelos más modernos
- Considerar vehículos con mayor autonomía para reducir frecuencia de recargas
- Analizar suscripciones o tarjetas de peaje para obtener descuentos
- Implementar sistema de optimización en tiempo real que responda a cambios de demanda

### Largo Plazo (6-12 meses):

- Invertir en tecnología de telemetría para monitoreo de combustible en tiempo real
- Establecer contratos de largo plazo (1-2 años) con estaciones estratégicas
- Optimizar composición de flota: aumentar vehículos medianos, reducir extremos
- Evaluar viabilidad de vehículos eléctricos o híbridos para reducir costos de combustible
- Desarrollar alianzas estratégicas con operadores de peajes para tarifas preferentes

### Impacto Esperado de Implementación:

| Área                    | Ahorro Estimado       | Plazo    |
|-------------------------|-----------------------|----------|
| Acuerdos con estaciones | 10-15% en combustible | 3 meses  |
| Optimización de flota   | 8-12% en costos fijos | 6 meses  |
| Gestión de peajes       | 5-8% en peajes        | 6 meses  |
| Eficiencia operativa    | 15-20% total          | 12 meses |

=====

Informe generado automáticamente el 23/11/2025 a las 23:11  
Sistema de Optimización Pyomo + HiGHS | LogistiCo S.A.  
Proyecto C - Caso 3: VRP con Combustible, Peajes y Restricciones