

Introducción y Objetivos



Una pyme santafesina se encuentra en un proceso de **transición tecnológica de su esquema de distribución**, incorporando tanquetas/IBC de 1.000 litros.

El objetivo es desarrollar una **herramienta de planificación de rutas** que permita organizar las entregas con el menor costo operativo posible, considerando las restricciones de la operatoria real.

Demanda Socioproductiva



- El nuevo sistema contempla **dos modalidades de entrega**:
- Descarga a granel.** El producto se transfiere desde la tanqueta del vehículo al depósito del cliente.
 - Intercambio de tanquetas.** Se entrega una tanqueta llena y se retira una tanqueta vacía.
- La operatoria requiere decidir **qué cargar en cada vehículo, qué clientes atender y en qué orden visitarlos**.

Metodología y Modelo PLEM

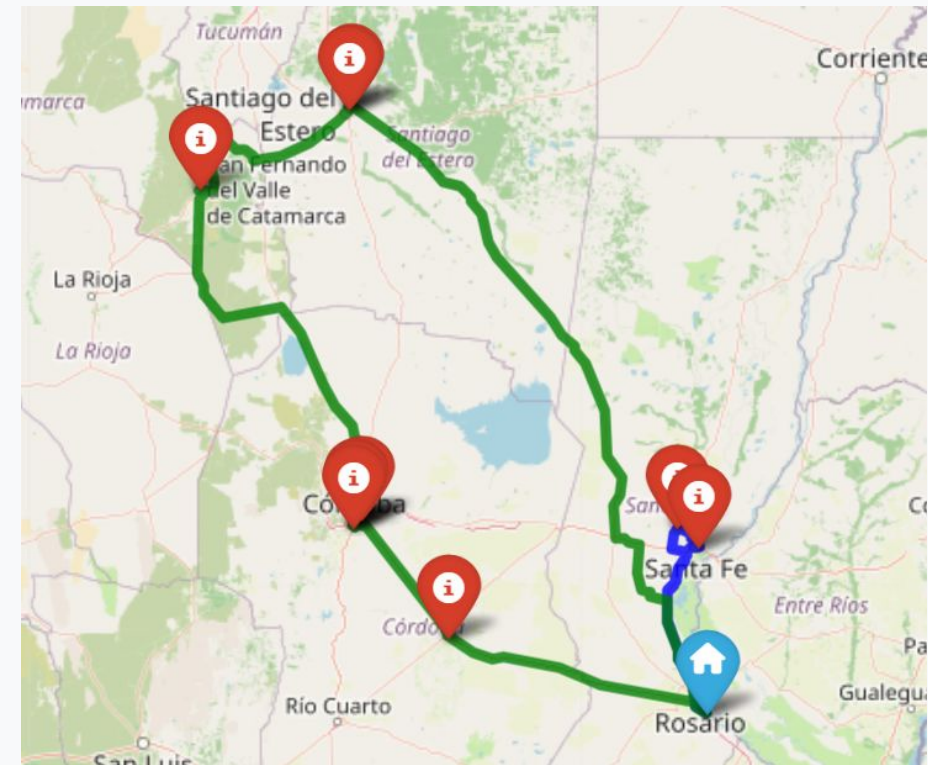
Se formuló una variante del **Problema de Ruteo de Vehículos** mediante **Programación Lineal Entera Mixta (PLEM)**.

El modelo determina simultáneamente:

- asignación de clientes y productos;
- carga inicial de cada vehículo;
- secuencia y horarios de visita;
- modalidad de entrega.

Objetivo: minimizar costos de combustible, horas extras y viáticos.

Se consideran capacidades de los vehículos, demandas, horarios de atención, tiempos de servicio y descansos obligatorios.



Variables principales:

- Para cada vehículo $v \in V$ y clientes $c_1, c_2 \in C^*$ tales que $c_1 \neq c_2$:
 $x_{c_1 c_2}^v \in \{0, 1\}$: v visita a c_1 y luego a c_2 .
- Para cada cliente $c \in C$,
 $h_c \in [0, H]$: instante de tiempo en que se comienza a atender a c .
- Para cada vehículo $v \in V$,
 $i_v \in [0, H]$: instante de tiempo en que v sale del depósito.
 $f_v \in [0, H]$: instante de tiempo en que v regresa al depósito.
- Para cada vehículo $v \in V$ y producto $p \in P$,
 $t_p^v \in \mathbb{Z}_+$: número de tanquetas cargadas con p necesarias para v .
- Para cada cliente $c \in C$ y ventana de tiempo $w \in vent(c)$,
 $z_{cw} \in \{0, 1\}$: c es atendido en la ventana w .

Herramienta desarrollada

Se implementó una herramienta que recibe la **lista de pedidos y clientes** y genera las rutas de reparto. La interfaz permite:



Prueba de Concepto

Para una instancia real con **2 camiones · 10 clientes · 4 provincia** (Santa Fe, Córdoba, Santiago del Estero y Catamarca), la herramienta obtuvo una **solución óptima en pocos segundos** y generó itinerarios completos para ambos vehículos.

La prueba permitió integrar en una misma planificación las decisiones de **carga, asignación, modalidad de entrega y secuenciación**, respetando las restricciones consideradas.

Conclusiones

- El prototipo permite transformar una **lista de pedidos en planes de reparto detallados**, combinando optimización matemática y visualización de los recorridos.
- Próximos pasos**
- Validar y ajustar el modelo junto con la empresa.
 - Ampliar las pruebas a instancias reales de mayor tamaño.
 - Incorporar nuevos aspectos de la operatoria.
 - Comparar los costos de las alternativas de distribución.

