

Rediseño de las rutas de transporte de una empresa comercializadora de insumos de construcción

PROBLEMA

La empresa ha visto crecimiento en sus operaciones a nivel nacional, pero su flota, que parte de un único centro en Guayaquil, tiene baja utilización y rutas ineficientes debido al volumen de artículos y restricciones de tránsito. Se está evaluando instalar un nuevo centro de distribución y optimizar las rutas para maximizar la eficiencia y mejorar los niveles de servicio, cubriendo la demanda creciente.

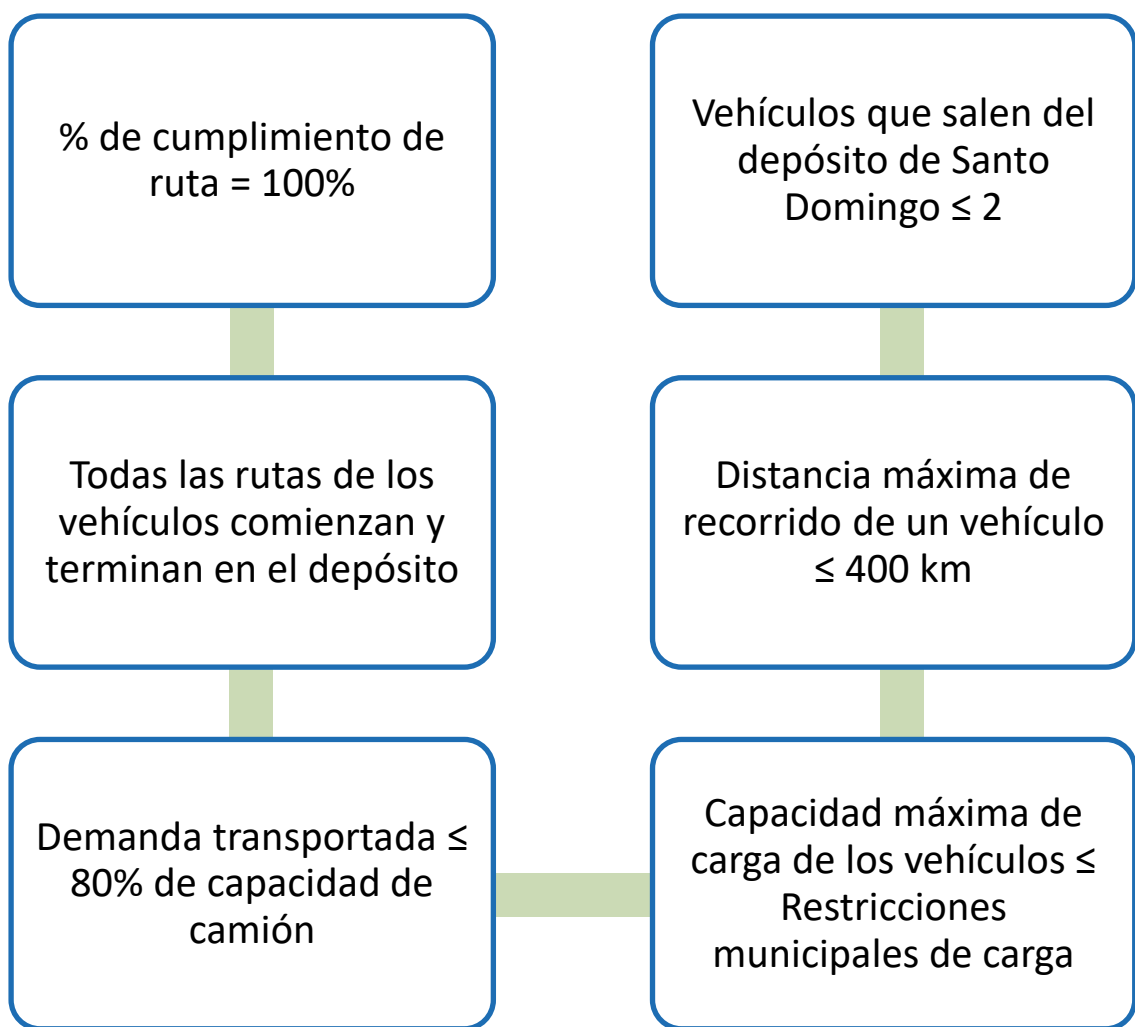


OBJETIVO GENERAL

Rediseñar las rutas de transporte de una empresa distribuidora de materiales de construcción mediante la aplicación de modelos de ruteo considerando las restricciones del entorno y que optimicen la utilización de los activos en un plazo de 3 meses.

PROPUESTA

Especificaciones de diseño



Restricciones



Modelo de ruteo de vehículos con múltiples depósitos (MDVRP)

Determina las mejores rutas para que una flota de vehículos sirva a un conjunto de clientes desde múltiples depósitos, optimizando la utilización de activos.

Conjuntos

T Set de clientes $\{T_1, T_2, \dots, T\}$
 D Set de depósitos $\{D_1, D_2\}$
 N Set of nodos $\{D_1, D_2, T_1, T_2, \dots, T\}; \quad N = T \cup D$
 K Set of vehículos $\{K_1, K_2, \dots, K\}$
 $A_{(k,d)}$ Set de pares de vehículos k asignados a depósito d ; $A \subseteq D \times K$
 $(n, j) \in N \times N$ Pares de nodos representando posibles arcos o conexiones entre nodos

Parámetros

C_{nj} Distancia recorrida entre nodos n a j [km]
 q_t Volumen de una orden de cliente t [m^3]
 pt Peso de una orden de cliente t [kg]
 Q_k Capacidad volumétrica máxima de un camión k [m^3]
 O_k Capacidad de carga máxima de un camión k [kg]
 V_k Velocidad promedio de la flota de camiones /65/ [km/h]
 T_{max} Distancia máxima de recorrido de un camión /400/ [km]
 M Constante suficientemente grande para la linealización

Variables

$x_{njk} = \begin{cases} 1; & \text{si vehículo } k \text{ viaja desde node } n \text{ a } j, \\ 0; & \text{caso contrario} \end{cases} \quad \text{donde } n \neq j$

$y_{td} = \begin{cases} 1; & \text{si cliente } t \text{ es asignado al depósito } d, \\ 0; & \text{caso contrario} \end{cases} \quad \text{donde } t \neq d$

u_{nk} Una variable continua que representa la carga acumulada del vehículo k al llegar al nodo n

u_{kd2} Una variable continua que representa la carga transportada por el vehículo k desde depósito 2, utilizada para limitar $D2$ a 5500

Z Distancia total recorrida

Función objetivo

$$\text{Min. } Z = \sum_{n \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} C_{nj} x_{knj}$$

Restricciones

(1) $\sum_{j \in N, j \neq d} x_{k,d,j} = y_{kd}, \quad \forall d \in D, \quad k \in K$

(2) $\sum_{n \in N, n \neq d} x_{k,n,d} = y_{kd}, \quad \forall d \in D, \quad k \in K$

(3) $\sum_{k \in K} \sum_{n \in N, n \neq t} x_{knt} = 1, \quad \forall t \in T$

(4) $\sum_{t \in T} q_t \sum_{n \in N} x_{knt} \leq 0.8 \cdot Q_k, \quad \forall k \in K$

(5) $\sum_{t \in T} p_t \sum_{n \in N} x_{knt} \leq 0.8 \cdot Q_k, \quad \forall k \in K$

(6) $\sum_{t \in N} \sum_{j \in N} C_{nj} x_{knj} \leq T_{max}, \quad \forall k \in K$

(7) $\sum_{n \in N, n \neq t} x_{knt} = \sum_{j \in N, j \neq t} x_{ktj}, \quad \forall t \in T, \quad \forall k \in K$

(8) $\sum_{k \in K} u_{kd2} \leq 5500, \quad \forall t \in T, \quad \forall k \in K$

(9) $\sum_{k \in K} y_{k,D2} \leq 2, \quad \forall k \in K, \quad \forall k \in K$

(10) $u_{kd2} \leq M \cdot y_{k,D2}, \quad \forall k \in K$

(11) $x_{njk} \in \{0,1\}, \quad \forall (n,j) \in N, \quad \forall k \in K$

$y_{td} \in \{0,1\}, \quad \forall t \in T, \quad \forall d \in D$

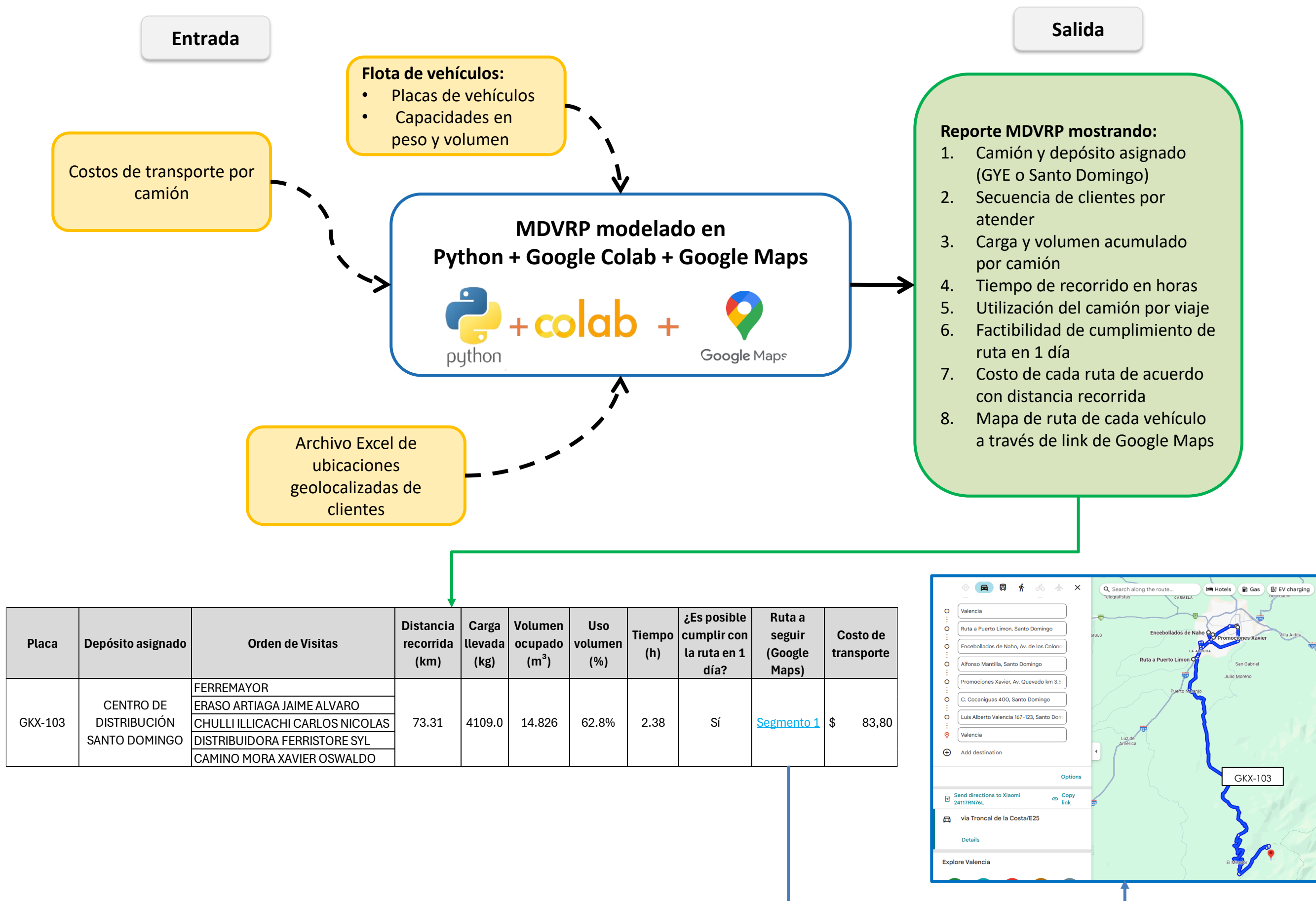
$u_{kd2} \geq 0, \quad \forall k \in K$

$u_{kd2} \leq M(1 - y_{k,D2}), \quad \forall k \in K$

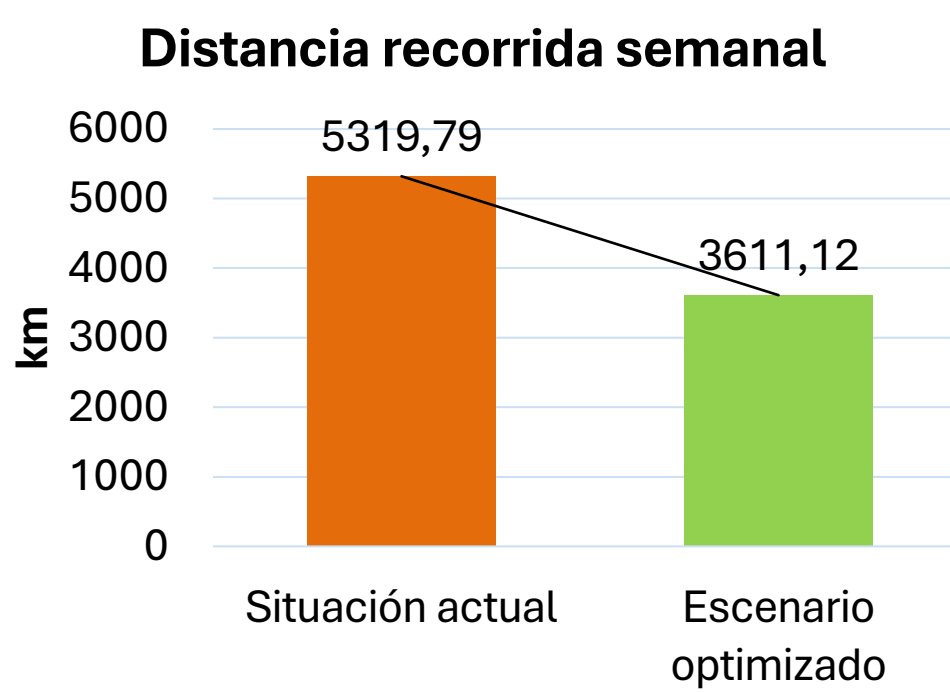
$u_k \geq 0, \quad \forall k \in K$

Las restricciones (1) y (2) aseguran la salida y retorno único de los vehículos a sus depósitos. La (3) garantiza que cada cliente sea atendido una sola vez, mientras que las (4) y (5) limitan la capacidad en volumen y peso. La restricción (6) controla la distancia máxima de recorrido, la (7) mantiene el flujo vehicular y la (8) limita la carga del depósito 2 a 5500 kg. Además, la (9) restringe a dos los vehículos que pueden salir de depósito 2, la (10) asegura consistencia en la carga y la (11) define las variables como binarias.

RESULTADOS



Luego de simular 1 semana de operaciones se obtuvieron los siguientes resultados:



Con el modelo de optimización, se logró **minimizar** en un **32%** la distancia recorrida.

Métricas de sostenibilidad

	Tiempo de viaje semanal	De 81,84 h a 55,56 h	Reducción 32,11%
	Emisiones de carbono	De 4273,46 kg CO2 a 2903,34 kg CO2	Reducción 32,12%
	Costos en transporte	De \$2687,38 a \$2158,25	Reducción 19,70%

CONCLUSIONES

Se identificaron las necesidades del gerente de operaciones a través de entrevistas y del análisis histórico de los viajes, lo que permitió asegurar que el diseño propuesto respondiera a los requerimientos reales del cliente.

Se definieron las especificaciones técnicas del modelo de ruteo, garantizando que el diseño estuviera alineado con las condiciones operativas de la empresa.

Se diseñó y parametrizó el modelo de ruteo seleccionado, implementándolo en una plataforma tecnológica que facilitó la interpretación y el análisis de los resultados por parte del cliente.

La validación mediante análisis de escenarios evidenció que el modelo es funcional y adaptable a distintos contextos, confirmando su viabilidad práctica en las operaciones logísticas.