

## MODELO PROYECTO 2

### SENECA LIBRE

Francois Morales – 202211168

Santiago Molina – 202112137

#### Conjuntos y Parámetros

- $C$ : Conjunto de clientes ( $i, j \in C$ )
- $D$ : Conjunto de centros de distribución ( $k \in D$ )
- $V$ : Conjunto de vehículos ( $v \in V$ )
- $N$ : Conjunto de nodos ( $N = C \cup D$ )
- $P$ : Conjunto de tipos de producto ( $p \in P$ )
- $Q_v$ : Capacidad de carga del vehículo  $v$
- $R_v$ : Rango de operación del vehículo  $v$  en kilometros
- $d_{i,j}$ : Distancia entre el nodo  $i$  y el nodo  $j$  en kilometros
- $f_{v,i,j}$ : Costo operativo del vehículo
- $m_v$ : Costo de mantenimiento diario para el vehículo  $v$  (COP/día)

#### Variables de decisión

- $x_{i,j}^v$ : Variable binaria, 1 si el vehículo  $v$  viaja del nodo  $i$  al nodo  $j$ , 0 de lo contrario
- $z_v$ : Variable binaria, 1 si el vehículo  $v$  es utilizado, 0 de lo contrario

#### Función Objetivo

$$\min \left( \sum_{v \in V} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} f_{v,i,j} \cdot x_{i,j}^v + \sum_{v \in V} \sum_{j \in N} z_v \cdot m_v \right)$$

#### Restricciones

1. Cada cliente debe ser visitado exactamente una vez

$$\sum_{v \in V} \sum_{j \in N} x_{i,j}^v = 1, \quad \forall i \in C$$

2. Conservación en el flujo de los nodos

$$\sum_{v \in V} x_{i,j}^v = \sum_{j \in N} x_{i,j}^v, \quad \forall i \in N, \forall v \in V$$

3. Capacidad de los vehículos

$$\sum_{p \in P} \sum_{i \in C} q_{i,p}^v \leq Q_v, \forall v \in V$$

**4. El vehículo no puede viajar a si mismo**

$$x_{i,i}^v = 0, \forall v \in V, \forall i \in N$$

**5. No viajar de un depósito a otro deposito**

$$x_{i,j}^v = 0, \forall v \in V, \forall i \in D, \forall j \in D$$

**6. Límite de rango de los vehículos**

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} d_{i,j} \cdot x_{i,j}^v \leq R_v, \forall v \in V, i \neq j$$

**7. Restricciones de activación de vehículos**

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} x_{i,j}^v \leq M \cdot z_v, \forall v \in V, i \neq j$$

**8. Eliminación de subtours**

$$u_i - u_j + |N| \cdot x_{i,j}^v \leq |N| - 1, \forall i, j \in C, i \neq j, \forall v \in V$$

**9. Sale de un depot**

$$\sum_{d \in D} \sum_{j \in N} x_{d,j}^v = 1, \quad \forall v \in V$$

**10. Entra a un depot**

$$\sum_{d \in D} \sum_{i \in N} x_{i,d}^v = 1, \quad \forall v \in V$$

**11. Restricción de demanda**

$$\sum_{v \in V} q_{i,v} = \text{Demanda\_cliente}_i$$

**Restricciones:**

1. **Cada cliente debe ser visitado exactamente una vez:** Garantiza que cada cliente sea atendido por un único vehículo, asegurando que todas las demandas sean satisfechas y que no se repitan visitas innecesarias.
2. **Conservación del flujo en los nodos:** Asegura que la cantidad de vehículos que entra a un nodo sea igual a la cantidad de vehículos que sale de ese nodo, manteniendo la continuidad en las rutas.
3. **Capacidad de los vehículos:** Limita la cantidad total de carga que un vehículo puede transportar para no exceder su capacidad máxima, sin importar los clientes a los que sirva.
4. **El vehículo no puede viajar a sí mismo:** Impide que un vehículo viaje de un nodo al mismo nodo, eliminando movimientos redundantes y garantizando rutas válidas.
5. **No viajar de un depósito a otro depósito:** Prohíbe que los vehículos realicen trayectos directamente entre depósitos, asegurando que se enfoquen en atender a los clientes.
6. **Límite de rango de los vehículos:** Restringe la distancia total recorrida por cada vehículo, asegurando que no exceda su rango operativo máximo
7. **Activación de vehículos:** Garantiza que solo se usen los vehículos necesarios para cubrir las rutas. Un vehículo se activa únicamente si realiza alguna operación (es decir, si recorre al menos una ruta).
8. **Eliminación de subtours (MTZ):** Evita que se formen ciclos o subrutas.
9. **Sale de depot:** Garantiza que cada vehículo comience su recorrido desde un centro de distribución.
10. **Entra a un depot:** Asegura que cada vehículo regrese a algún centro de distribución al finalizar su recorrido.
11. **Restricción de demanda:** Se debe cumplir con la demanda de cada cliente.

### Caso 1:

#### Reporte de Costos:

En el escenario base, el costo total optimizado de las operaciones fue de 766,830 COP, compuesto por los costos de distancia recorrida y los costos de mantenimiento diario de los vehículos activados. Los costos de distancia son calculados considerando las rutas asignadas a cada vehículo y las distancias específicas entre los nodos visitados. Cada vehículo incurre en un costo proporcional a su tarifa operativa por kilómetro multiplicada por las distancias de las rutas efectivamente recorridas. Por otro lado, los costos de mantenimiento diario se calculan según el número de vehículos activados en la solución final, donde cada vehículo activo añade un costo fijo diario al total. Este desglose permite identificar las contribuciones de cada componente al valor de la función objetivo, mostrando cómo las rutas eficientes y el uso selectivo de vehículos minimizan los costos operativos globales.

#### Análisis de Resultados:

El modelo logró satisfacer los requerimientos específicos del escenario, asegurando que todos los clientes fueran visitados y sus demandas atendidas. Los resultados muestran un

conjunto de rutas optimizadas, como las asignadas al Vehículo 5, que visitó los nodos 18, 27, 20, 26, 36, y 6, completando una ruta optima respetando las restricciones. Este diseño evidencia que las rutas están configuradas para minimizar costos operativos y respetar las restricciones del problema, como capacidad máxima de los vehículos y flujo continuo en los nodos. Sin embargo, el modelo dejó un margen de mejora al alcanzar un gap del 2.67% entre la solución factible encontrada y el límite inferior calculado, lo que sugiere que, con un mayor tiempo de optimización o ajustes en los parámetros, se podría obtener una solución aún más eficiente.

## **Caso 2:**

### **Reporte de Costos:**

En el escenario 2, diseñado para evaluar los costos, el costo total obtenido fue de 697,622.55 COP. Este valor se desglosa en los costos de distancia y los costos de mantenimiento diario. Los costos de distancia se calculan multiplicando la distancia recorrida por cada vehículo en su respectiva ruta por los costos operativos asociados. Los costos de mantenimiento diario, por otro lado, son costos fijos aplicados a los vehículos que fueron activados.

### **Análisis de Resultados:**

En este escenario, el modelo logró cumplir con los requerimientos específicos, asegurando la visita de todos los clientes y el cumplimiento de sus demandas. Las rutas generadas incluyen ejemplos como el del Vehículo 4, cubriendo múltiples nodos como los clientes 13, 35, y 41. Sin embargo, se detectó un gap del 20.44% entre la solución factible encontrada y el límite inferior estimado, indicando un potencial para optimización adicional. Esto podría lograrse con un mayor tiempo de procesamiento o ajustes en la configuración de costos o restricciones. En general, las rutas generadas muestran patrones donde los vehículos operan en zonas específicas, optimizando su cobertura y minimizando la distancia recorrida, pero el gap indica que aún hay oportunidades para afinar el modelo.

## **Caso 3:**

### **Reporte de Costos:**

En el escenario 3, enfocado en la gestión de oferta en centros de distribución, se obtuvo un costo total de 257,263.07 COP. Este resultado incluye dos componentes principales: costos por distancia recorrida y costos de mantenimiento diario. Los costos de distancia representan los gastos asociados al transporte entre clientes y centros, calculados multiplicando las distancias por los costos operativos específicos de cada vehículo. Los costos de mantenimiento diario reflejan los gastos fijos de operación por cada vehículo activado. El modelo optimizó estos costos al limitar el número de vehículos utilizados y diseñar rutas eficientes para satisfacer las demandas de los clientes, cumpliendo además con las capacidades disponibles en los centros de distribución.

### **Análisis de Resultados:**

El modelo logró satisfacer completamente los requerimientos del escenario, cumpliendo con las restricciones relacionadas con la capacidad de los centros de distribución y las demandas de los clientes. Las rutas generadas incluyen casos simples, como el del Vehículo V1, que atendió la ruta (17,2) y su retorno, así como otros más complejos, como el Vehículo V2, que cubrió los nodos (16,21,8,19), maximizando la utilización del vehículo en una zona específica. El modelo alcanzó una solución óptima, con un gap bajo, lo que refleja una alta eficiencia en el diseño de rutas.

### **Caso 4:**

#### **Reporte de Costos:**

**Reporte de Costos Operacionales** En el escenario 4, centrado en el manejo de múltiples productos, el costo total calculado fue de 258,964.82 COP. Este costo está compuesto por dos elementos principales: los costos asociados a la distancia recorrida y los costos de mantenimiento diario de los vehículos utilizados. Los costos de distancia se derivan del transporte de productos entre los clientes y los centros de distribución, calculados considerando las distancias y los costos operativos específicos de cada vehículo. Por otro lado, los costos de mantenimiento se asocian al uso de los vehículos necesarios para cubrir las rutas optimizadas, independientemente de su carga. El modelo minimizó estos costos manteniendo rutas eficientes y limitando la activación de vehículos adicionales.

### **Análisis de Resultados:**

El modelo resolvió los requerimientos del escenario 4, garantizando que las demandas de múltiples productos en cada cliente fueran atendidas dentro de los límites de capacidad de los centros de distribución y los vehículos. Las rutas generadas incluyen rutas sencillas, como las del Vehículo V1 (17,6), así como rutas más complejas, como las del Vehículo V2, que cubrió (13,20,21,5). El solver alcanzó una solución óptima con un gap bajo, destacando la eficiencia del modelo para manejar este tipo de escenarios.