Resolución del Problema Integrado de Enrutamiento y Gestión de Inventarios
Aplicación de Programación Lineal Entera Mixta

Etzel Yuliza Peralta Lopez

Universidad Nacional del Altiplano Puno

Definición del Problema

- **Problema Multi-Vehicle IRP**
- **Objetivo:** Minimizar costos de:
  - Enrutamiento
  - Gestión de inventario
- **Consideraciones:**
  - Múltiples vehículos
  - Horizonte de planificación definido
  - Demandas conocidas por cliente
  - Capacidades limitadas (almacén/vehículos)

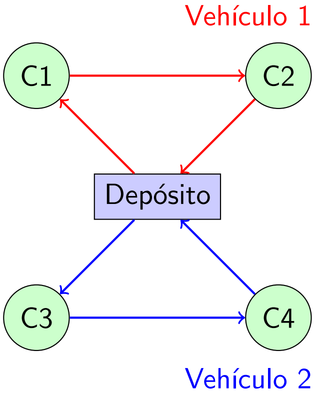


Figura: Ejemplo de rutas con múltiples vehículos

Función objetivo:

$$\min \sum_{i \in V} \sum_{t \in M} H_i I_{it} + \sum_{i,j \in V} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} Costo_{ij} X_{ijkt}$$

Variables de decisión:

- X_{ijkt}: Si el arco ij es usado por vehículo k en periodo t
- I_{it}: Nivel de inventario del cliente i al final del periodo t
- q_{ikt}: Cantidad enviada al cliente i por vehículo k en t
- Y_{ikt}: Si el cliente i es visitado por vehículo k en t

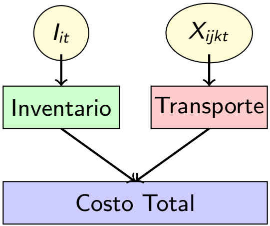


Figura: Estructura del modelo

Restricciones principales:

- Balance de inventario: $I_{it} = I_{it-1} + \sum_{k \in K} q_{ikt} - d_{it}$
- Capacidad de almacenamiento: $I_{it} \leq C_i$
- Capacidad de vehículos: $\sum_{i \in V1} q_{ikt} \leq QY_{0kt}$
- Conservación de flujo: $\sum_{j \in V} X_{ijkt} = Y_{ikt}$

Políticas de Gestión de Inventario

Maximum Level (ML):

- Repone según demanda del cliente
- No excede capacidad máxima
- **Ecuaciones clave:**

$$\sum_{k \in K} q_{ikt} \leq C_i - I_{it-1}$$

$$q_{ikt} \leq C_i Y_{ikt}$$

Order Up to Level (OU):

- Llena completamente el inventario
- Alcanza nivel máximo de almacén
- **Ecuación adicional:**

$$q_{ikt} \geq C_i Y_{it} - I_{it-1}$$

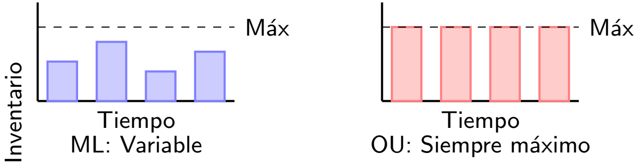


Figura: Comparación de políticas de inventario

Eliminación de Sub-tours

Tres métodos para eliminar sub-tours:

1. **Modelo General:** Variables de carga acumulada

$$U_{jkt} \geq U_{ikt} + q_{jkt} + QX_{ijkt} - Q$$

2. **Modelo de Flujos:** Variables de flujo f_{ijkt}

$$\sum_j f_{0jkt} = \sum_j Y_{jkt}$$

$$\sum_j f_{ijkt} = \sum_j f_{jikt} - Y_{ikt}$$

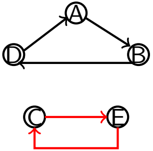
3. **Método MTZ:** Define orden de visita

$$W_{0kt} = 0$$

$$W_{jkt} \geq W_{ikt} + 1 - n(1 - X_{ijkt})$$

Problema de sub-tours

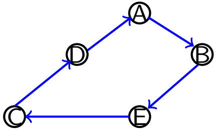
Tour 1



Tour 2 (sub-tour)

Solución correcta (ruta única)

Ruta única (D-A-B-E-C-D)



Resultados y Conclusiones

Resultados principales:

Método	Flujos	MTZ	General
GAP promedio	1.49 %	6.62 %	9.21 %
Tiempo (s)	655	728	1123

Hallazgos:

- **Mejor:** Modelo de Flujos + política ML
- **Intermedio:** Método MTZ
- **Menor rendimiento:** Modelo General

Conclusiones:

- Metodología adaptable a diferentes aplicaciones
- Buena calidad en instancias pequeñas/medianas
- Limitante: Alta complejidad computacional

Trabajo futuro:

- Desarrollo de heurísticas y metaheurísticas
- Modelos con demandas estocásticas
- Manejo de productos perecederos

Comparativa de métodos