Johan Alexis Bautista Quinayas 202214789
Danny Camilo Muñoz Sanabria 202215511

Laboratorio 2: Optimización de Redes - Creación de rutas inalámbricas

Problema 1: Redes de Transporte

a. Modelo Matemático:

Conjuntos:

- P: Conjunto de productores.
- C: Conjunto de consumidores.

Índices:

- $p \in P$: productores
- $c \in C$: Consumidores

Parámetros:

- O_p: Oferta del productor p (en toneladas).
- D_c: Demanda del consumidor c (en toneladas).
- C_{pc}: Costo por tonelada desde el productor p al consumidor c.

Variables de Decisión:

- ✔ $X_{pc}, X_{PC} \geq 0$: Toneladas transportadas del productor p al consumidor c.

Función Objetivo:

$$Min\left(\sum_{p \in P} \sum_{c \in C} C_{pc} * x_{pc}\right)$$

Restricciones:

- ✔ Satisfacción de la demanda para cada consumidor:

$$\sum_{p \in P} x_{pc} = D_c, \forall\, c \in C$$

- ✔ Satisfacción de la oferta para cada productor:

$$\sum_{c \in C} x_{pc} \leq O_p, \forall\, p \in P$$

c. Análisis de Sensibilidad de las ciudades de destino y las ciudades de origen.

Los valores duales para cada ciudad consumidora representan el incremento en el costo mínimo si la demanda en esa ciudad aumentara en una tonelada. Se obtuvieron los siguientes valores duales:

- ✔ Cali: 2.5 (aumentar una tonelada de demanda en Cali aumentaría el costo mínimo en 2.5 unidades monetarias).
- ✔ Barranquilla: 2.7
- ✔ Pasto: 1.8
- ✔ Tunja: 1.0

Johan Alexis Bautista Quinayas 202214789
Danny Camilo Muñoz Sanabria 202215511

- ✔ Chía: 1.0
- ✔ Manizales: 0.8

Valores duales de la oferta: Por otro lado, los valores duales de las ciudades productoras, indican el impacto en el costo mínimo si la oferta de estas ciudades se incrementara en una tonelada.

- ✔ Bogotá: -0.2 (aumentar una tonelada de oferta en Bogotá reduciría el costo en 0.2 unidades monetarias).
- ✔ Medellín: 0.0 (aumentar la oferta en Medellín no cambiaría el costo).

El valor negativo en Bogotá significa que si se aumentarla oferta reduciría ligeramente el costo. En cambio, el valor de 0 para Medellín indica que su capacidad actual es suficiente y aumentar su oferta no impactaría el costo total, probablemente porque no está usando la totalidad de la oferta.

Análisis de sensibilidad:
Demanda: Aumentar la demanda en alguna ciudad, los valores duales te dicen dónde esto tendrá el mayor impacto en el costo. Por ejemplo, aumentar la demanda en Barranquilla tendrá el mayor impacto (2.7), mientras que en Manizales el impacto es menor (0.8).
Oferta: Mover oferta de Medellín a Bogotá es una buena idea, dado que Medellín tiene un valor dual de 0, entonces, su oferta es suficiente, mientras que aumentar la oferta de Bogotá reduciría los costos.

d. Mueva 50 toneladas de oferta de Medellin a Bogotá y repita el análisis de sensibilidad. ¿Que ha cambiado? ¿Recomendaría este cambio o que otro cambio puede proponer?

Al comparar los resultados previos con los obtenidos después de mover 50 toneladas de oferta de Medellín a Bogotá, los cambios principales que observamos son:

1. **Reducción del costo total**: El costo mínimo bajó, lo que indica que la reubicación de la oferta ayudó a optimizar el costo total de transporte, como se menciona en el análisis de sensibilidad anterior.
2. **Ajuste en el transporte a Chía**: Bogotá incrementó su envío a Chía de 150 a 200 toneladas, mientras que Medellín redujo su envío a Chía de 75 a 25 toneladas. Esto demuestra que al mover la oferta, Bogotá tomó más responsabilidad en abastecer Chía, probablemente debido a los menores costos de transporte desde Bogotá hacia esa ciudad.
3. **Precios sombra**: Los valores duales de las demandas se mantuvieron iguales, entonces las restricciones de demanda no cambiaron significativamente su impacto sobre el sistema. Aún se mantiene el precio sombra negativo en la oferta de Bogotá (-0.2) que indica que aumentar la oferta en Bogotá puede seguir reduciendo el costo total.

Recomendación:

Sí, recomendaría este cambio, ya que resultó en una reducción del costo total del transporte. Mover las 50 toneladas de oferta de Medellín a Bogotá permitió una distribución más eficiente hacia las ciudades destino, especialmente Chía, que benefició de menores costos de transporte desde Bogotá.

Johan Alexis Bautista Quinayas 202214789
Danny Camilo Muñoz Sanabria 202215511

Resultados de ejecución originales:

```
Costo mínimo: 1715.0
Transportar 175.0 toneladas de Bogota a Barranquilla con costo 2.5
Transportar 225.0 toneladas de Bogota a Pasto con costo 1.6
Transportar 150.0 toneladas de Bogota a Chia con costo 0.8
Transportar 125.0 toneladas de Medellin a Cali con costo 2.5
Transportar 250.0 toneladas de Medellin a Tunja con costo 1.0
Transportar 75.0 toneladas de Medellin a Chia con costo 1.0
Transportar 200.0 toneladas de Medellin a Manizales con costo 0.8

Valores duales (precios sombra):
Precio sombra de la demanda en Cali: 2.5
Precio sombra de la demanda en Barranquilla: 2.7
Precio sombra de la demanda en Pasto: 1.8
Precio sombra de la demanda en Tunja: 1.0
Precio sombra de la demanda en Chia: 1.0
Precio sombra de la demanda en Manizales: 0.8
Precio sombra de la oferta en Bogota: -0.2
Precio sombra de la oferta en Medellin: 0.0
 johanbaq  main U:2  ~/Documents/Uniandes Linux/MOS/GroupMOS/Lab2
```

Resultados de ejecución después de mover 50T de Medellin a Bogotá:

```
Costo mínimo: 1705.0
Transportar 175.0 toneladas de Bogota a Barranquilla con costo 2.5
Transportar 225.0 toneladas de Bogota a Pasto con costo 1.6
Transportar 200.0 toneladas de Bogota a Chia con costo 0.8
Transportar 125.0 toneladas de Medellin a Cali con costo 2.5
Transportar 250.0 toneladas de Medellin a Tunja con costo 1.0
Transportar 25.0 toneladas de Medellin a Chia con costo 1.0
Transportar 200.0 toneladas de Medellin a Manizales con costo 0.8

Valores duales (precios sombra):
Precio sombra de la demanda en Cali: 2.5
Precio sombra de la demanda en Barranquilla: 2.7
Precio sombra de la demanda en Pasto: 1.8
Precio sombra de la demanda en Tunja: 1.0
Precio sombra de la demanda en Chia: 1.0
Precio sombra de la demanda en Manizales: 0.8
Precio sombra de la oferta en Bogota: -0.2
Precio sombra de la oferta en Medellin: 0.0
 johanbaq  main U:3  ~/Documents/Uniandes Linux/MOS/GroupMOS/Lab2
```

Johan Alexis Bautista Quinayas 202214789
Danny Camilo Muñoz Sanabria 202215511

Problema 2: Rutas Óptimas para equipos de Inspección de

a. Modelo Matemático:

Conjuntos:

- E: Conjunto de equipos.
- C: Conjunto de lugares.

Índices:

- $e \in E$: Equipos
- $i, j \in L$: Lugares

Parámetros:

- d_{ij}: Distancia entre la localidad i y la localidad j

Variables de Decisión:

- x_{eij}: Variable binaria que toma el valor 1 si el equipo e viaja de la localidad i a la localidad j
- u_{ei}: Variable auxiliar para la eliminación de subtours

Función Objetivo: Minimizar la distancia total recorrida por todos los equipos:

$$Min\left(\sum_{e \in E} \sum_{i \in L} \sum_{j \in L} d_{ij} * x_{eij}\right)$$

Restricciones:

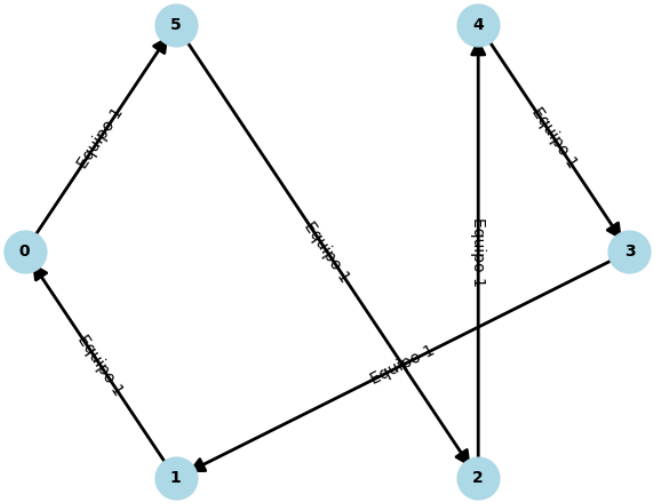
- ✔ Cada equipo debe salir de la localidad de origen una sola vez: $\sum_{j \in L, j \neq 0} x_{e0j} = 1 \; \forall \, e \in E$
- ✔ Cada equipo debe regresar a la localidad de origen una sola vez: $\sum_{i \in L, i \neq 0} x_{ei0} = 1 \; \forall \, e \in E$
- ✔ Cada localidad debe ser visitada exactamente una vez por algún equipo:

  $\sum_{e \in E} \sum_{j \in L, j \neq i} x_{eij} = 1 \; \forall \, i \in L, i \neq 0$
- ✔ Lo que entra en una localidad debe salir: $\sum_{j \in L, j \neq i} x_{eij} = \sum_{j \in L, j \neq i} x_{eji} \; \forall \, e \in E, i \in L, i \neq 0$
- ✔ Eliminación de subtours (restricción MTZ):

  $u_{ei} - u_{ej} + |L| * x_{eij} \leq |L| - 1 \quad \forall \, e \in E, i \in L, j \in L, i \neq 0, j \neq 0$

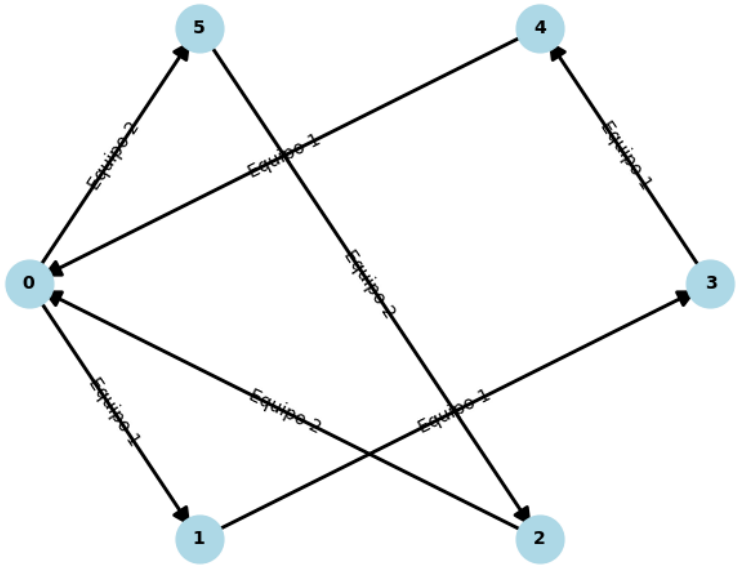
Johan Alexis Bautista Quinayas 202214789
Danny Camilo Muñoz Sanabria 202215511

Resultados de ejecución:
Equipos: 1




```
=== Resultados de las Rutas de los Equipos ===

Equipo 1:
De 0 a 5 - Distancia: 1
De 1 a 0 - Distancia: 1
De 2 a 4 - Distancia: 2
De 3 a 1 - Distancia: 2
De 4 a 3 - Distancia: 1
De 5 a 2 - Distancia: 1
Distancia total recorrida por el equipo 1: 8

Distancia total recorrida por todos los equipos: 8
 johanbaq  main U:1  ~/Documents/Uniandes Linux/MOS/GroupMOS/Lab2
```

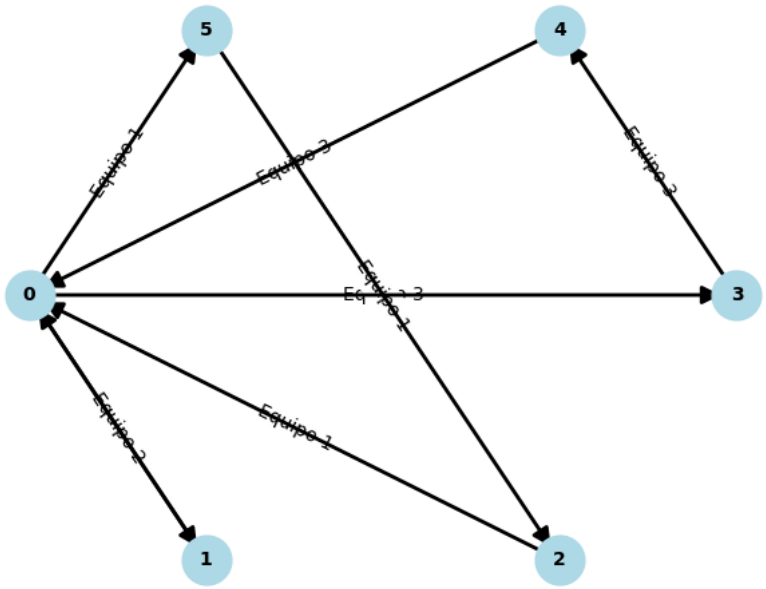
Equipos: 2



Johan Alexis Bautista Quinayas 202214789
Danny Camilo Muñoz Sanabria 202215511

```
=== Resultados de las Rutas de los Equipos ===

Equipo 1:
De 0 a 1 - Distancia: 1
De 1 a 3 - Distancia: 2
De 3 a 4 - Distancia: 1
De 4 a 0 - Distancia: 2
Distancia total recorrida por el equipo 1: 6

Equipo 2:
De 0 a 5 - Distancia: 1
De 2 a 0 - Distancia: 1
De 5 a 2 - Distancia: 1
Distancia total recorrida por el equipo 2: 3

Distancia total recorrida por todos los equipos: 9
 johanbaq  main U:1  ~/Documents/Uniandes Linux/MOS/GroupMOS/Lab2
```

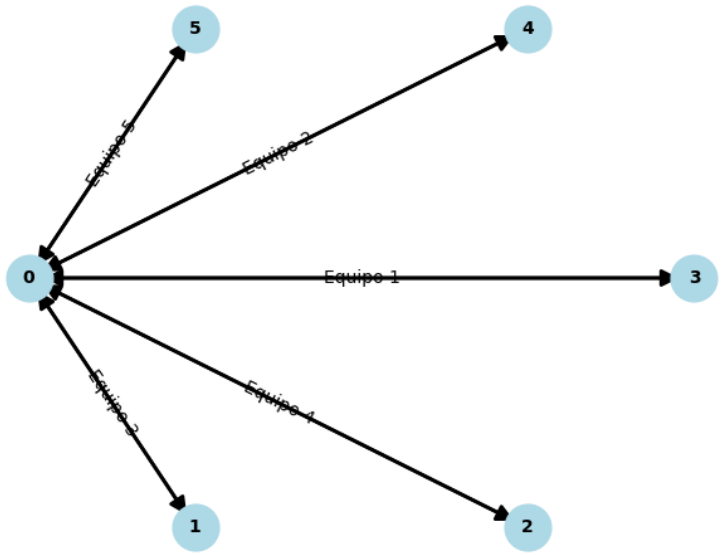
Equipos: 3




```
=== Resultados de las Rutas de los Equipos ===

Equipo 1:
De 0 a 5 - Distancia: 1
De 2 a 0 - Distancia: 1
De 5 a 2 - Distancia: 1
Distancia total recorrida por el equipo 1: 3

Equipo 2:
De 0 a 1 - Distancia: 1
De 1 a 0 - Distancia: 1
Distancia total recorrida por el equipo 2: 2

Equipo 3:
De 0 a 3 - Distancia: 2
De 3 a 4 - Distancia: 1
De 4 a 0 - Distancia: 2
Distancia total recorrida por el equipo 3: 5

Distancia total recorrida por todos los equipos: 10
 johanbaq  main  ~/Documents/Uniandes Linux/MOS/GroupMOS/Lab2
```

Johan Alexis Bautista Quinayas 202214789
Danny Camilo Muñoz Sanabria 202215511

Equipos: 5




```
=== Resultados de las Rutas de los Equipos ===

Equipo 1:
De 0 a 3 - Distancia: 2
De 3 a 0 - Distancia: 2
Distancia total recorrida por el equipo 1: 4

Equipo 2:
De 0 a 4 - Distancia: 2
De 4 a 0 - Distancia: 2
Distancia total recorrida por el equipo 2: 4

Equipo 3:
De 0 a 1 - Distancia: 1
De 1 a 0 - Distancia: 1
Distancia total recorrida por el equipo 3: 2

Equipo 4:
De 0 a 2 - Distancia: 1
De 2 a 0 - Distancia: 1
Distancia total recorrida por el equipo 4: 2

Equipo 5:
De 0 a 5 - Distancia: 1
De 5 a 0 - Distancia: 1
Distancia total recorrida por el equipo 5: 2

Distancia total recorrida por todos los equipos: 14
johanbaq  main U:1  ~/Documents/Uniandes Linux/MOS/GroupMOS/Lab2
```

Equipos: 8

```
  Objectives:
    objetivo : Size=1, Index=None, Active=True
ERROR: evaluating object as numeric value: decision[1,0,0]
       (object: <class 'pyomo.core.base.var.VarData'>)
    No value for uninitialized NumericValue object decision[1,0,0]
ERROR: evaluating object as numeric value: objetivo
       (object: <class 'pyomo.core.base.objective.ScalarObjective'>)
    No value for uninitialized NumericValue object decision[1,0,0]
       Key : Active : Value
       None :   None :  None
```

Obtenemos un error en el modelo, lo cual es esperable ya que el número de equipos > número de nodos. Es decir, no se le podría asignar una ruta a cada equipo y cumplir la restricción de una única visita a cada nodo.

Johan Alexis Bautista Quinayas 202214789
Danny Camilo Muñoz Sanabria 202215511

Problema 3: Optimización de Sensores en Ciudades Inteligentes

a. Modelo matemático

Conjuntos:

- L: Conjunto de todas las locations en Smartville.
- S: Conjunto de tipos de sensores que pueden ser instalados.

Índices:

- $l \in L$: Locations
- $s \in S$: Sensores

Parámetros:

- c_l: Costo de instalación en la localidad l. Es un costo fijo por localidad y se paga cada vez que cualquier sensor es instalado allí.
- e_s: Costo de consumo de energía del sensor s, expresado en unidades monetarias.
- t_{sl}: Costo de comunicación del sensor s en la locación l con la puerta de enlace central
- λ_{sl}: Indicador binario de si la localidad l requiere el sensor s según $sensor\,coverage_{[s,l]}$.

Variables de Decisión:

- $x_{[s,l]}$: Variable binaria que indica si el sensor s se instala en la localidad l (1 si se instala, 0 en caso contrario).
- y_l: Variable binaria que indica si se instala algún sensor en la localidad l (1 si se instala, 0 en caso contrario).

Función Objetivo:

$$Min \left(\sum_{s \in S} \sum_{l \in L} (e_s + t_s + c_l) * x_{[s,l]} \right)$$

Restricciones:

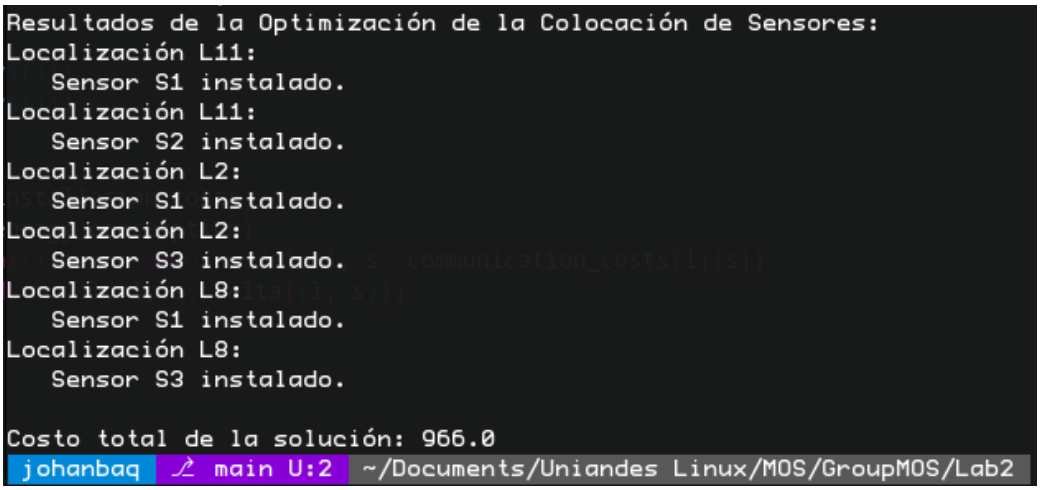
✔ **Cobertura de localidades:** $\sum_{s \in S} \sum_{k \in Adj[l]} x_{[s,k]} * \lambda_{[l,s]} \geq \lambda_{[l,s]} \forall\, l \in L, s \in S$ Donde $Adj[l]$ es el conjunto de localidades que incluye l y todas sus adyacentes.

Explicación restricción: La suma de las variables de decisión x_{sk}, para cada sensor s en la localidad l y sus adyacentes, multiplicada por el parámetro λ_{ls}, asegurando que la suma sea al menos 1 si $\lambda_{sl}=1$, lo que indica que el sensor s es necesario en la localidad l. Por otro lado, si $\lambda_{ls}=0$, la suma será igual a 0. Es decir, no hay necesidad del sensor s en la localidad l.

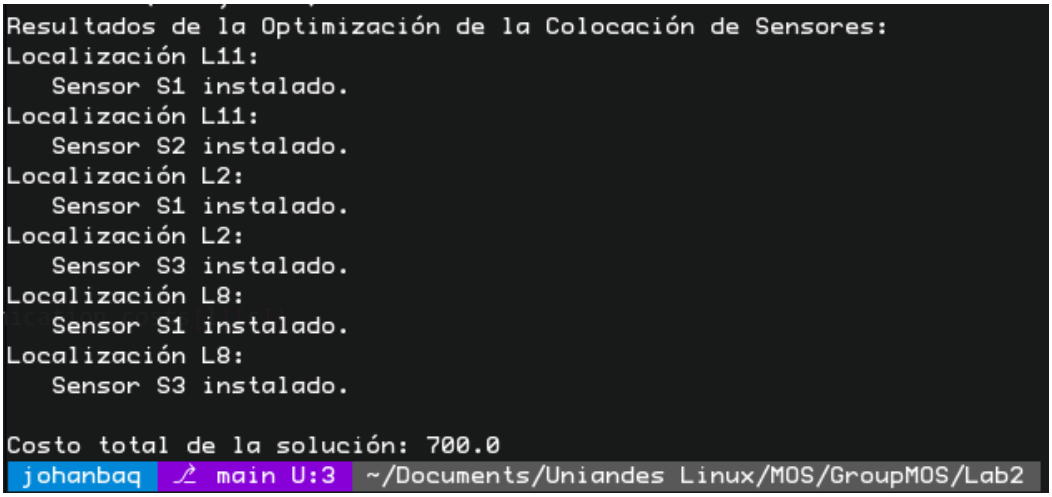
Johan Alexis Bautista Quinayas 202214789
Danny Camilo Muñoz Sanabria 202215511

Resultados de ejecución:

Sin cambios:



Únicamente teniendo en cuenta el costo de instalación:



Como es esperable, es costo total, es decir la F.O. se redujo, debido a que únicamente estamos teniendo en cuenta el costo de instalación. Por otro lado, podemos observar que no cambiaron los tipos de sensores instalados ni sus ubicaciones, por ende, podemos intuir que el costo de instalación es el más grande de los costos, y las decisiones del modelo están en gran parte dictaminadas por optimizar el mismo.