

Práctica con ordenador I: Bloque II (temas 2 y 3).

Objetivos del documento

En este documento se describe la práctica con ordenador obligatoria del segundo Bloque (Modelos deterministas) de la asignatura Investigación Operativa. El objetivo de la práctica es demostrar los conocimientos adquiridos en clase en relación con el Bloque II implementados en GurobiPy.

Pautas de elaboración

La práctica consta de cuatro preguntas (1–4), que suman un total de 10 puntos y deben resolverse en orden, con claridad, rigor y detalle. Para cada pregunta, se deberá formular y resolver un programa matemático en GurobiPy correspondiente al problema planteado.

La salida del optimizador (valores óptimos de las variables y coste total) debe presentarse de forma clara y legible, por ejemplo, mediante instrucciones `print()` en GurobiPy o mediante capturas de pantalla de la consola.

Asimismo, es necesario interpretar los resultados obtenidos y presentar la solución completa junto con las capturas correspondientes. Las respuestas que no incluyan los archivos de código de GurobiPy asociados al modelo recibirán una calificación de cero puntos.

El trabajo deberá realizarse preferiblemente en grupos de dos alumnos. Excepcionalmente, si el número total de estudiantes es impar, se permitirá la formación de un grupo de tres alumnos, previa autorización expresa de los profesores. **No obstante, cada estudiante deberá enviar la práctica individualmente a través del Aula Virtual.**

La **entrega de la práctica se realizará exclusivamente a través del Aula Virtual** de la asignatura, **dentro del plazo establecido en el Aula Virtual**. No se aceptarán entregas por otros medios ni fuera del plazo oficial.

Extensión y formato

Formato: La memoria deberá entregarse en un único archivo PDF con:

- ✓ Primera página:
 - Título: Práctica con ordenador I.
 - Identificación del alumno y de otros participantes en el grupo de trabajo.
 - Año académico.
 - Asignatura.
 - Titulación.
- ✓ Un apartado para cada pregunta (con los ficheros relacionados de GurobiPy incluidas las soluciones copiadas y pegadas o la captura de la pantalla de las soluciones), y la explicación de los pasos del desarrollo de la solución y la interpretación de los resultados.
- ✓ Los archivos de GurobiPy relacionados con las preguntas.

Criterios de evaluación

Cada estudiante está obligado a entregar la memoria. En caso de no hacerlo, recibirá una calificación de cero puntos en la evaluación de esta actividad. Se evaluarán los siguientes aspectos:

1. Razonamiento lógico y estructurado de los pasos seguidos para formular los modelos y obtener las soluciones.
2. **Corrección de las soluciones:** los valores de las soluciones presentadas deben ser correctos.
3. **Claridad y organización:** se valorará la claridad, detalle y organización de las respuestas.
4. **Desarrollo de modelos:** es fundamental indicar los pasos seguidos para desarrollar los modelos y alcanzar las soluciones.
5. **Archivos relacionados:** se deben incluir los archivos correspondientes utilizados en el desarrollo.
6. **Resolución en GurobiPy:** incluir en la memoria la solución obtenida con GurobiPy para cada una de las preguntas.
7. **Interpretación de resultados:** se espera una interpretación adecuada de los resultados obtenidos para cada una de las preguntas, vinculando los resultados con el contexto del problema.

Ejercicio práctico: Enunciado

La empresa DataMind Labs necesita distribuir 18 MilGb de datos desde 3 almacenes (Lisboa, Madrid, Turín) hacia 3 centros de cómputo (París, Berlín, Varsovia), buscando el coste total mínimo. Por lo que necesita determinar la cantidad de datos a enviar desde tres centros de origen hacia tres destinos, minimizando el coste total de transferencia (costes variables de transferencia + costes fijos por activación de canal), respetando las capacidades, demandas y limitaciones operativas. Todos los costes se expresan en euros (€); los costes variables en céntimos €/MilGb se convierten dividiendo entre 100. Los flujos son fraccionables (variables continuas).

Las siguientes tablas resumen la oferta y demanda en miles de Gb y los costes unitarios de transferencia en céntimos€/MilGb entre los distintos centros:

Matriz de oferta y demanda			Matriz de costes (céntimos € / MilGb):			
Centro	Tipo	MilGb	Origen \ Destino	París (1)	Berlín (2)	Varsovia (3)
Lisboa (A)	Oferta	5	Lisboa (A)	4	3	6
Madrid (B)	Oferta	6	Madrid (B)	7	4	9
Turín (C)	Oferta	7	Turín (C)	9	5	2
Total Oferta		18				
París (1)	Demanda	4				
Berlín (2)	Demanda	5				
Varsovia (3)	Demanda	9				
Total Demanda		18				

Condiciones operativas

- Las transferencias se realizan mediante canales dedicados de comunicación.
- Cada canal puede transferir hasta 10 MilGb de datos.
- Activar un canal implica un coste fijo de 50 €.
- Solo hay 4 canales disponibles, y cada canal solo puede conectar un par origen–destino (por ejemplo, Lisboa-París).
- En el modelo base, como máximo puede existir un canal por cada par origen–destino.
- Por motivos de privacidad, el centro de Berlín (2) no puede recibir datos simultáneamente de Lisboa (A) y Madrid (B) (es decir, no pueden estar activos ambos canales Lisboa–Berlín y Madrid–Berlín a la vez).

- Es posible alquilar un quinto canal adicional con el mismo límite de capacidad (10 MilGb), pero con un coste fijo de 65 € (15 € más caro).
- A lo sumo puede alquilarse un solo canal adicional.

Objetivo de la práctica

Formular un modelo de Programación Lineal Entera Mixta (MILP) que minimice el coste total de transferencia, considerando la mezcla de costes variables (por MilGb de datos) y costes fijos (por activación de canal) y las restricciones de capacidad, oferta, demanda y operativas.

Pregunta 1 – Modelo base (3,0 puntos).

Formula el modelo MILP en GurobiPy y presenta su solución junto con la interpretación de los resultados para minimizar el coste total de transferencia. Se valorará el uso de una notación matemática clara y coherente.

Para las siguientes 3 preguntas, presenta el programa MILP actualizado en GurobiPy y sus soluciones junto con la interpretación de las mismas. Escribe las nuevas ecuaciones y explica qué representa cada una.

Pregunta 2 – Extensión 1 (2,5 puntos).

Supón que un solo canal puede no ser suficiente para mover todos los datos entre ciertos orígenes y destinos. Modifica las variables y restricciones para permitir más de un canal por par origen–destino, manteniendo la capacidad de 10 MilGb por canal, y ajusta la función objetivo.

Pregunta 3 – Extensión 2 (2,5 puntos).

Supón que activar un centro de almacenamiento (A, B o C) para transferir datos conlleva un coste fijo adicional de 5000 €. Ajusta las variables, las restricciones y la función objetivo en el modelo de la pregunta 2 para captar este supuesto.

Pregunta 4 – Extensión 3 (2,0 puntos).

Ahora, DataMind Labs desea optimizar su red considerando transferencias intermedias y restricciones adicionales:

1. Se habilita un nodo de transbordo (Zúrich (T)), que puede recibir datos desde los orígenes y reenviarlos a los destinos. El coste variable de transferencia es de 5 céntimos € por MilGb de datos entre cada origen y Zúrich, y entre Zúrich y cada destino. Estos canales también consumen capacidad y pagan coste fijo de activación (50 € o 65 € si es el quinto canal). Añade las nuevas variables de flujo y de activación de canal correspondientes, y las restricciones de balance de flujo en Zúrich en el modelo de la pregunta 3, para captar este supuesto.
2. Añade la condición de que, si el canal de Zúrich a París se activa, debe transportar al menos 0,5 MilGb de datos, para captar este supuesto.