

Hanie Kiani
Jairo Paez Leal
Federico Trevisan
Javier Pajares Camacho

Máster en Ingeniería de Organización
Métodos Cuantitativos Avanzados

Trabajo Entrega 3: Asignación de quirófanos en un hospital y generación de columnas.

I. MODELO 1

En la formulación clásica de este problema se define el conjunto I de equipos médicos que se tienen que asignar al conjunto J de quirófanos. Se asumen unos costes, C_{ij} , por asignar un equipo $i \in I$ a un quirófano $j \in J$.

Para cada operación que $i \in I$ (realizada por un equipo de cirugía concreto) se tienen programadas la hora de inicio de la operación, I_i , y la hora de finalización, F_i . La decisión, asociada con la variable x_{ij} , es si se asigna (o no) el equipo de cirugía i al quirófano j .

$$\begin{aligned}
 & \min. \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} C_{ij} x_{ij} \\
 & s.a. : \\
 & \sum_{j \in J} x_{ij} \geq 1 \quad \forall i \in I \\
 & \sum_{h \in L_i} x_{hj} + x_{ij} \leq 1 \quad \forall i \in I, \forall j \in J \\
 & x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J
 \end{aligned}$$

Tareas realizadas:

1. Lectura y preparación de datos:

Se importaron los archivos de Excel:

- Costos de asignación por quirófano (241204_costes.xlsx).
- Detalles de las operaciones quirúrgicas programadas

(241204_datos_operaciones_programadas.xlsx).

Se reorganizó el archivo de costos, transponiéndolo para facilitar la asignación entre operaciones y quirófanos (filas i, quirófanos j).

2. Modelado matemático:

Se implementó un modelo de programación lineal entera para minimizar los costos totales de asignación de operaciones a quirófanos, en el servicio de cardiología pediátrica.

Conjuntos: I, el conjunto de aquellas operaciones que pertenecen al servicio de cardiología pediátrica, y J, el conjunto de todos los quirófanos disponibles.

Variables de decisión: X_{ij} , indicando si la operación i se asigna al quirófano j, variable de tipo binaria.

Función objetivo: Minimizar los costos totales de asignación, en el servicio de cardiología pediátrica.

Restricciones:

- Cada operación debe ser asignada a al menos un quirófano. Para ello, se implementa en Python la primera restricción mostrada en la imagen del Modelo I.
- Operaciones incompatibles no pueden ser asignadas al mismo quirófano simultáneamente. Para ello, se optó por realizar un diccionario en donde se pudiera hallar, para una operación determinada, el conjunto de todas las operaciones que sean incompatibles con esta. Luego este diccionario se filtra para solo utilizar aquellas operaciones de cardiología pediátrica, y finalmente se implementa la segunda restricción de la imagen del Modelo I en Python.

Con el modelado matemático definido, se obtiene una solución óptima para el problema, donde el valor objetivo (coste mínimo de asignación) es de 1500, y las operaciones se asignan de la siguiente manera a los quirófanos:

- Operación 2 asignada al Quirófano 40
- Operación 5 asignada al Quirófano 24
- Operación 12 asignada al Quirófano 42
- Operación 18 asignada al Quirófano 65
- Operación 44 asignada al Quirófano 21
- Operación 57 asignada al Quirófano 11
- Operación 67 asignada al Quirófano 58
- Operación 68 asignada al Quirófano 34
- Operación 88 asignada al Quirófano 71
- Operación 107 asignada al Quirófano 50
- Operación 133 asignada al Quirófano 23
- Operación 138 asignada al Quirófano 4

- Operación 159 asignada al Quirófano 61

II. MODELO 2

Objetivo: Crear una función que genere un conjunto K de planes factibles k para un día específico de quirófanos en un hospital.

Una **planificación** es una colección de operaciones que pueden asignarse a un quirófano determinado sin generar conflictos relacionados con solapamientos en el mismo quirófano.

Para lograr esto, se creó la función `nueva_planificacion()`, que, dada la entrada de los DataFrames `datos_filtrados` y `costes`, devuelve:

1. **La planificación (K):** Un DataFrame donde:
 - a. Las filas representan las operaciones quirúrgicas.
 - b. Las columnas representan los quirófanos.
 - c. Los elementos de la matriz son los parámetros B_{ik} , que toman el valor 1 si la operación i está asignada al quirófano k , y 0 en caso contrario.
2. **El coste de la planificación (C_k):** Un diccionario donde:
 - a. Las claves son los quirófanos.
 - b. Los valores son los costes de planificación de cada quirófano, calculados como la suma del coste promedio de las operaciones asignadas.

Una vez obtenida la planificación factible K , se puede resolver un problema de programación lineal:

- **Función objetivo:** Minimizar los costes totales de asignación de las operaciones a los quirófanos.
- **Restricciones:**
 - Cada operación debe asignarse, al menos, a un quirófano.
 - Solo se activan los quirófanos necesarios.

III. MODELO 3

Objetivo: Construir en Python un algoritmo basado en la generación de columnas que minimice el número de quirófanos utilizados.

Pasos:

1. **Creación del conjunto de operaciones "incompatibles":** Para cada operación, se define el

conjunto de operaciones que no pueden ser asignadas al mismo horario porque se solapan en el tiempo. Para esto, se creó la función `operaciones_incompatibles()`, que devuelve un diccionario.

2. **Creación de un horario inicial factible:** Se utiliza la misma función del modelo 2, `primera_planificacion()`.
3. **Mejora de la planificación inicial:** Mediante un algoritmo de generación de columnas.
 - a. **Problema maestro relajado** (`master_relajado()`): Determina cuáles de los horarios dentro del conjunto K activar, buscando minimizar el número de quirófanos abiertos y garantizando que todas las operaciones sean asignadas. Se denomina "relajado" porque utiliza variables continuas para obtener los precios sombra (el problema original utiliza variables booleanas enteras).
 - b. **Generación de nuevas columnas** (`generacion_columnas()`): A partir de los precios sombra de la iteración previa del problema maestro relajado, genera un nuevo horario asignando tantas operaciones como sea posible a un quirófano. Se asegura de no generar conflictos (según las restricciones basadas en las operaciones incompatibles) y de mejorar la función objetivo del problema maestro relajado.
4. **Iteraciones del algoritmo:** En cada iteración:
 - a. Se resuelve el problema maestro relajado.
 - b. Se realiza la generación de columnas.
 - c. La nueva columna generada se agrega al conjunto de horarios, que será la entrada para la siguiente iteración.

El ciclo se detiene cuando ya no es posible generar nuevas columnas que mejoren la función objetivo del problema maestro relajado.

5. **Resolución del problema maestro entero** (`master_entero()`): Una vez obtenido el conjunto final de horarios, se determinan qué horarios, entre los factibles, disminuyen efectivamente el número de quirófanos abiertos