

ENTREGA 3

MÉTODOS
CUANTITATIVOS
AVANZADOS

Grupo E

Sofía Vígara
Irene Santacruz
Saira Usabiaga
Yaiza Vega



ÍNDICE

1. Introducción	1
2. Modelo 1	2
3. Modelo 2 (homogéneo)	4
4. Modelo 3	6

1. Introducción

La optimización de recursos en el sector sanitario es un aspecto muy importante para garantizar la calidad de los servicios. Los bloques quirúrgicos, como parte fundamental de la operación hospitalaria, representan una de las áreas de mayor impacto tanto en términos de costes como de resultados para los pacientes. Sin embargo, su gestión eficiente se ve limitada por la falta de herramientas avanzadas que permitan abordar la complejidad inherente de su planificación.

Este trabajo se centra en el desarrollo de modelos aplicados a la asignación de quirófanos en el Hospital Felipe VI. El objetivo principal es crear soluciones que minimicen costes operativos, optimicen la utilización de recursos y mejoren la accesibilidad a los servicios quirúrgicos. A través de tres enfoques –optimización de costes de asignación, cobertura de planificación mediante modelos de set covering y generación de columnas para minimizar quirófanos necesarios–, este trabajo busca aportar buenas soluciones para apoyar la toma de decisiones en la gestión de dicho hospital.

2. Modelo 1

El modelo 1 busca conseguir la asignación óptima de operaciones quirúrgicas del servicio de **Cardiología Pediátrica** a quirófanos, minimizando los costes de asignación asociados. Es decir, este problema busca decidir en qué quirófano debe realizarse cada operación, respetando las restricciones de incompatibilidad entre operaciones que se solapan en el tiempo y minimizando los costes. La finalidad es garantizar la eficiencia operativa y reducir el coste total de asignación.

Para este problema, se debe tener en cuenta que cada operación debe ser asignada a al menos un quirófano y que, si dos operaciones coinciden en horarios, son incompatibles por lo que no pueden coincidir en un quirófano.

El modelo se ha resuelto con la librería PuLP (*modelo1.py*) y sus datos de entrada son:

- Los costes de asignación de las operaciones a los quirófanos.
- Un listado con las operaciones quirúrgicas programadas.

En primer lugar se han leído y filtrado los datos para obtener únicamente los del servicio de Cardiología Pediátrica. Después, se ha definido una lista llamada '*incompatibilidades*' que determina las operaciones incompatibles con cada operación. Tras esto, se ha podido formular el modelo y proceder a su resolución.

El estado de la solución se presenta como '*Óptimo*', lo que significa que se encontró la mejor solución posible dentro de las restricciones del modelo. Esto confirma que se logró asignar todas las operaciones quirúrgicas a quirófanos de manera que se minimizan los costes totales.

El valor de la función objetivo en el óptimo es **1510.0** unidades de coste, que representa el coste mínimo total asociado a la asignación de las operaciones quirúrgicas del servicio de Cardiología Pediátrica a los quirófanos disponibles.

Las asignaciones de operaciones a quirófanos obtenidas fueron las siguientes:

Operación	Quirófano asignado
20241204_OP_107	Quirófano 50
20241204_OP_12	Quirófano 42
20241204_OP_133	Quirófano 23
20241204_OP_138	Quirófano 4
20241204_OP_159	Quirófano 61
20241204_OP_18	Quirófano 65

20241204_OP_2	Quirófano 40
20241204_OP_44	Quirófano 21
20241204_OP_5	Quirófano 24
20241204_OP_57	Quirófano 11
0241204_OP_67	Quirófano 58
20241204_OP_68	Quirófano 34
20241204_OP_88	Quirófano 71

3. Modelo 2 (homogéneo)

El objetivo de este modelo es minimizar los costes de asignación de operaciones quirúrgicas a quirófanos utilizando un enfoque basado en *Set Covering*. Este método busca garantizar que todas las operaciones estén asignadas a una planificación de quirófanos factible, optimizando los recursos disponibles y evitando conflictos de horario.

Lo que destaca de este modelo es que los costes de asignación de operaciones son independientes del quirófano.

El modelo se ha resuelto con la librería PuLP (*modelo2.py*) y sus datos de entrada son los mismos que en el apartado anterior, es decir, los costes de las operaciones por quirófano y los datos de operaciones quirúrgicas programadas.

Al igual que en el apartado anterior, en primer lugar se han leído y filtrado los datos para enfocarnos en las especialidades quirúrgicas que el ejercicio requería:

- Cardiología Pediátrica.
- Cirugía Cardiovascular.
- Cirugía Cardíaca Pediátrica.
- Cirugía General y del Aparato Digestivo.

En este problema, es fundamental evitar conflictos en las planificaciones diarias para garantizar la factibilidad operativa de los quirófanos, por lo que, para la identificación de incompatibilidades, se ha definido la función **son_incompatibles** que determina qué operaciones no pueden coincidir en el mismo quirófano debido a solapamiento de horarios.

Utilizando la función **generar_planificaciones** se han generado las diferentes planificaciones factibles. Debido a que el número total de planificaciones factibles es muy alto, se han generado varias planificaciones factibles siguiendo las estrategias definidas a continuación.

- Según el orden de las operaciones inicial: siguiendo este orden inicial de la lista '*operaciones_filtradas*' se intenta asignar cada operación a una planificación ya existente. En caso de no ser posible debido a incompatibilidades, se crea una nueva planificación para esa operación.
- Según el orden de las operaciones inverso: se sigue la misma lógica que en el punto anterior pero partiendo de la lista '*operaciones_filtradas*' en orden inverso.

Cabe destacar que se han seguido las dos estrategias para que cada operación esté en más de una planificación y el modelo pueda elegir las mejores.

Una vez definidas estas funciones y los parámetros del modelo, se puede formular el modelo. Las variables clave del modelo son las variables binarias $y[k]$, que indican si una planificación específica es seleccionada o no. Es decir, para cada planificación de quirófano posible, se asigna un 1 si la planificación es elegida, o un 0 si no lo es. Las restricciones del modelo aseguran que cada operación esté cubierta por al menos una planificación de quirófano. Por último, la función objetivo del modelo busca minimizar el coste total asociado con las planificaciones seleccionadas.

El estado del modelo tras la resolución se presenta como '*Óptimo*', lo que indica que se ha alcanzado la mejor solución posible dentro de las restricciones y parámetros establecidos.

El valor de la función objetivo en el óptimo es **57923.63** unidades de coste, que representa el coste mínimo total asociado a la selección de las planificaciones.

En cuanto a las planificaciones seleccionadas, el modelo selecciona un conjunto de planificaciones que cubren todas las operaciones sin generar conflictos de horario. Las planificaciones seleccionadas son las siguientes:

- Planificación 10: 20241204 OP-55
- Planificación 11: 20241204 OP-104
- Planificación 12: 20241204 OP-165
- Planificación 14: 20241204 OP-23
- Planificación 16: 20241204 OP-34
- Planificación 17: 20241204 OP-1
- Planificación 24: 20241204 OP-156, 20241204 OP-105, 20241204 OP-36, 20241204 OP-117, 20241204 OP-67
- Planificación 25: 20241204 OP-163, 20241204 OP-121, 20241204 OP-143, 20241204 OP-9, 20241204 OP-99, 20241204 OP-138, 20241204 OP-159
- Planificación 26: 20241204 OP-30, 20241204 OP-148, 20241204 OP-5, 20241204 OP-18, 20241204 OP-12
- Planificación 27: 20241204 OP-78, 20241204 OP-59, 20241204 OP-22
- Planificación 28: 20241204 OP-164, 20241204 OP-102, 20241204 OP-70
- Planificación 29: 20241204 OP-135, 20241204 OP-57
- Planificación 30: 20241204 OP-83, 20241204 OP-21
- Planificación 31: 20241204 OP-139, 20241204 OP-125
- Planificación 34: 20241204 OP-73, 20241204 OP-44
- Planificación 36: 20241204 OP-126
- Planificación 40: 20241204 OP-110
- Planificación 41: 20241204 OP-35
- Planificación 42: 20241204 OP-167
- Planificación 43: 20241204 OP-88
- Planificación 44: 20241204 OP-107
- Planificación 45: 20241204 OP-2
- Planificación 46: 20241204 OP-133
- Planificación 47: 20241204 OP-68

Cabe destacar que en total se han seleccionado 24 planificaciones, lo que significa que se hará uso de 24 de los 99 quirófanos disponibles.

4. Modelo 3

El objetivo del Modelo 3 es minimizar el número de quirófanos utilizados. Esto permite liberar quirófanos adicionales para emergencias u otras necesidades no planificadas, optimizando así el uso del bloque quirúrgico. Este enfoque está basado en un modelo de set covering, pero adaptado con un algoritmo de generación de columnas.

A diferencia de los dos modelos anteriores, no se ha realizado ningún filtrado de los servicios. Se ha hecho uso de todos los datos correspondientes a todos los servicios existentes del hospital.

El modelo se ha resuelto con la librería PuLP (*modelo3.py*) y sus datos de entrada son los mismos que en los dos apartados anteriores, es decir, los costes de las operaciones por quirófano y los datos de operaciones quirúrgicas programadas.

En este problema, como en el problema del modelo 2, es fundamental identificar las operaciones incompatibles. Por tanto, se define la misma función que en el modelo 2: **son_incompatibles**.

Para este modelo hace falta un conjunto de planificaciones inicial factible, estas planificaciones se generan utilizando la función **generar_planificacion_inicial**. Esta función genera un conjunto de planificaciones inicial factible que contiene a todas las operaciones siguiendo la siguiente estrategia:

- Siguiendo el orden de lista '*operaciones_df*' se intenta asignar cada operación a una planificación ya existente. En caso de no ser posible debido a incompatibilidades, se crea una nueva planificación para esa operación.

Cabe destacar que este conjunto de planificaciones inicial usa 94 de los 99 quirófanos disponibles.

En cuanto a la resolución con el método de generación de columnas, hace falta definir tres modelos de programación lineal diferentes:

- **Modelo maestro con variables continuas:** la función **modelo_maestro** formula el modelo maestro con variables continuas, necesario para obtener los precios sombra que se usan en el modelo generador de columnas. El objetivo del modelo es minimizar el número de quirófanos utilizados.
- **Modelo maestro con variables enteras:** la función **modelo_maestro_entero** formula el mismo modelo que el anterior pero con las variables enteras, pues la decisión de qué columnas usar debe ser entera. Este modelo se usará una vez se hayan terminado las iteraciones en el modelo generador de columnas.
- **Modelo generador de columnas:** la función **subproblema** formula el modelo generador de columnas para mejorar la solución inicial. Estas columnas representan asignaciones factibles de operaciones a quirófanos sin conflictos temporales. El objetivo es identificar nuevas planificaciones factibles que maximicen su impacto en la solución del problema maestro restringido, basándose en los precios sombra obtenidos del modelo maestro con variables continuas. Cabe destacar que incluye

una restricción para que la columna generada no tenga operaciones incompatibles entre ellas.

Una vez definidas estas funciones, se puede implementar el algoritmo basado en la generación de columnas. Se define un máximo de 20 iteraciones para controlar el algoritmo (en este caso el algoritmo termina con menos iteraciones). En cada iteración se resuelve el problema maestro restringido con el conjunto de planificaciones disponible y se obtienen los precios sombra. Con estos precios sombra, se resuelve el modelo generador de columnas para obtener una nueva planificación. Si el valor de la función objetivo del modelo generador de columnas es mayor que 1, se añade la nueva planificación obtenida al conjunto de planificaciones disponible y se repiten los primeros dos pasos.

El proceso iterativo continúa resolviendo el modelo maestro y generando nuevas planificaciones a través del subproblema hasta que no se puedan encontrar planificaciones que mejoren la solución (función objetivo del subproblema menor o igual que uno) o se alcance el límite de iteraciones definido.

Una vez terminado el bucle, resolvemos el modelo maestro **con variables enteras** con todas las planificaciones iniciales y las obtenidas con la generación de columnas, obteniendo que el **número mínimo de quirófanos necesario** es de **93**. El modelo imprime las planificaciones que se usan para obtener este número de quirófanos, es importante tener en cuenta que el modelo no asigna cada planificación a un quirófano determinado, ya que no importa en qué quirófano se realice cada planificación.