



UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA  
DE MADRID

# ENTREGA 3 GRUPO D

*Métodos Cuantitativos Avanzados*

*Profesor: Miguel Ángel Ortega*

*8 diciembre de 2024*

Iñigo Ruiz-Cuevas

Javier Asiain

Iker Gorka Rubio

Alex Escudero

Master en Ingeniería en Organización

## Introducción

Este trabajo se centra en abordar el problema de asignación de equipos de cirugía a quirófanos en un hospital mediante la aplicación de técnicas avanzadas de optimización matemática. Se plantean tres modelos diferentes: el primero minimiza los costes de asignación considerando particularidades de cada operación y quirófano; el segundo adopta un enfoque basado en "set covering" para minimizar costes mediante planificaciones diarias eficientes; y el tercero busca minimizar el número de quirófanos utilizados mediante generación de columnas, permitiendo maximizar la disponibilidad para casos urgentes. Cada modelo se implementa en Python y se prueba con datos reales para optimizar la gestión del bloque quirúrgico y reducir costes.

## Apartado 1

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

Utilizando Python, hemos resuelto el problema de optimización de la asignación de quirófanos para distintas operaciones quirúrgicas, minimizando los costes asociados. El modelo asignó quirófanos de manera eficiente, logrando un coste total mínimo de 1510(unidades monetarias). Las asignaciones óptimas incluyen:

- Operación OP-68 asignada al Quirófano 34.
- Operación OP-57 asignada al Quirófano 11.
- Operación OP-133 asignada al Quirófano 23.
- Operación OP-12 asignada al Quirófano 42.
- Operación OP-159 asignada al Quirófano 61.
- Operación OP-18 asignada al Quirófano 65.
- Operación OP-67 asignada al Quirófano 58.
- Operación OP-2 asignada al Quirófano 40.
- Operación OP-138 asignada al Quirófano 4.
- Operación OP-5 asignada al Quirófano 24.
- Operación OP-44 asignada al Quirófano 21.
- Operación OP-107 asignada al Quirófano 50.
- Operación OP-88 asignada al Quirófano 71.

Este resultado garantiza que todas las operaciones fueron asignadas a quirófanos adecuados, cumpliendo con las restricciones y minimizando los costos operativos.

## Apartado 2

Utilizando Python, hemos abordado el problema de asignación de operaciones quirúrgicas a quirófanos mediante un modelo basado en "set covering". En este enfoque, cada planificación representa un quirófano utilizado para cubrir las operaciones asignadas en un día específico.

El objetivo principal fue garantizar una solución factible que asegurara la cobertura de todas las operaciones planificadas sin conflictos, optimizando el uso de quirófanos. El modelo obtuvo una solución factible con un coste total mínimo de **57923.63**, utilizando un total de **24 quirófanos**. A continuación, se describen las planificaciones con las operaciones asignadas y los costes totales:

- Planificación 1. OP-68, OP-57, OP-12, OP-18, OP-67, OP-5, OP-143, OP-21. Coste: 11,450.11.
- Planificación 2. OP-133, OP-138, OP-99, OP-9, OP-121. Coste: 5,157.78.
- Planificación 3. OP-159, OP-2, OP-22, OP-105. Coste: 5,225.48.
- Planificación 4. OP-44, OP-70, OP-102. Coste: 2,265.14.
- Planificación 5. OP-107, OP-148. Coste: 2,041.68.
- Planificación 6. OP-88, OP-117, OP-36. Coste: 2,596.31.
- Planificación 7. OP-167. Coste: 1,265.87.
- Planificación 8. OP-35. Coste: 1,862.63.
- Planificación 9. OP-125, OP-139. Coste: 3,144.61.
- Planificación 10. OP-110. Coste: 1,267.66.
- Planificación 11. OP-55. Coste: 1,249.11.
- Planificación 12. OP-104. Coste: 1,600.24.
- Planificación 13. OP-165. Coste: 513.12.
- Planificación 14. OP-126. Coste: 1,135.08.
- Planificación 15. OP-23. Coste: 1,442.64.
- Planificación 16. OP-73, OP-83. Coste: 3,316.39.
- Planificación 17. OP-34. Coste: 2,041.36.
- Planificación 18. OP-1. Coste: 1,253.84.
- Planificación 19. OP-59, OP-78. Coste: 1,761.43.
- Planificación 20. OP-135. Coste: 1,482.28.
- Planificación 21. OP-164. Coste: 1,240.55.
- Planificación 22. OP-30. Coste: 1,135.05.
- Planificación 23. OP-163. Coste: 2,036.54.
- Planificación 24. OP-156. Coste: 1,438.73.

El modelo asegura que todas las operaciones quirúrgicas programadas están cubiertas sin solapamientos y que cada quirófano planificado respeta las restricciones de incompatibilidad. Para garantizar la cobertura de todas las operaciones quirúrgicas programadas y asegurar la factibilidad de la solución se ha añadido al final del código una verificación a través de bucles. El código puede observarse en el archivo .py , pero el resultado obtenido al compilar es lo siguiente:

```
=== Verificación de Solución ===
```

Todas las operaciones están cubiertas.

No se encontraron incompatibilidades dentro de las planificaciones.

### Apartado 3

En el tercer apartado, se aborda el problema de asignación de quirófanos mediante un enfoque de **generación de columnas**, cuyo objetivo principal es minimizar el número de quirófanos necesarios para cubrir todas las operaciones quirúrgicas planificadas. Este enfoque permite asignar las operaciones de forma eficiente, reduciendo el uso de recursos y dejando quirófanos disponibles para emergencias u otras necesidades no planificadas.

El modelo calcula que el número mínimo de quirófanos necesarios es **94**, distribuyendo las operaciones quirúrgicas de manera óptima. A continuación se observa que operación ha sido asignada a cada quirófano.

- Quirófano 1: 20241204 OP-68, 20241204 OP-57, 20241204 OP-12, 20241204 OP-18, 20241204 OP-67, 20241204 OP-5, 20241204 OP-143, 20241204 OP-21, 20241204 OP-91, 20241204 OP-130, 20241204 OP-41, 20241204 OP-160, 20241204 OP-46
- Quirófano 2: 20241204 OP-133, 20241204 OP-138, 20241204 OP-99, 20241204 OP-9, 20241204 OP-42, 20241204 OP-145, 20241204 OP-154, 20241204 OP-166, 20241204 OP-58, 20241204 OP-65
- Quirófano 3: 20241204 OP-159, 20241204 OP-2, 20241204 OP-22, 20241204 OP-157, 20241204 OP-132, 20241204 OP-32, 20241204 OP-172
- Quirófano 4: 20241204 OP-44, 20241204 OP-70, 20241204 OP-102, 20241204 OP-80
- Quirófano 5: 20241204 OP-107, 20241204 OP-148, 20241204 OP-114, 20241204 OP-105, 20241204 OP-54, 20241204 OP-151, 20241204 OP-168
- Quirófano 6: 20241204 OP-88, 20241204 OP-121, 20241204 OP-36, 20241204 OP-120, 20241204 OP-79, 20241204 OP-20
- Quirófano 7: 20241204 OP-167, 20241204 OP-25, 20241204 OP-117, 20241204 OP-118, 20241204 OP-27, 20241204 OP-103, 20241204 OP-37, 20241204 OP-106
- Quirófano 8: 20241204 OP-35, 20241204 OP-47, 20241204 OP-13, 20241204 OP-113, 20241204 OP-39, 20241204 OP-149
- Quirófano 9: 20241204 OP-125, 20241204 OP-139, 20241204 OP-150, 20241204 OP-11, 20241204 OP-24, 20241204 OP-111
- Quirófano 10: 20241204 OP-110, 20241204 OP-90, 20241204 OP-147, 20241204 OP-108, 20241204 OP-158, 20241204 OP-169
- Quirófano 11: 20241204 OP-55, 20241204 OP-101, 20241204 OP-134
- Quirófano 12: 20241204 OP-104, 20241204 OP-152, 20241204 OP-72, 20241204 OP-96
- Quirófano 13: 20241204 OP-165, 20241204 OP-89, 20241204 OP-131, 20241204 OP-75
- Quirófano 14: 20241204 OP-126, 20241204 OP-76
- Quirófano 15: 20241204 OP-23
- Quirófano 16: 20241204 OP-73, 20241204 OP-86, 20241204 OP-97
- Quirófano 17: 20241204 OP-34
- Quirófano 18: 20241204 OP-1, 20241204 OP-94
- Quirófano 19: 20241204 OP-59, 20241204 OP-83

- Quirófano 20: 20241204 OP-64, 20241204 OP-92
- Quirófano 21: 20241204 OP-140
- Quirófano 22: 20241204 OP-112
- Quirófano 23: 20241204 OP-77
- Quirófano 24: 20241204 OP-43
- Quirófano 25: 20241204 OP-135
- Quirófano 26: 20241204 OP-164
- Quirófano 27: 20241204 OP-78, 20241204 OP-50
- Quirófano 28: 20241204 OP-30
- Quirófano 29: 20241204 OP-163
- Quirófano 30: 20241204 OP-156
- Quirófano 31: 20241204 OP-170
- Quirófano 32: 20241204 OP-61
- Quirófano 33: 20241204 OP-129
- Quirófano 34: 20241204 OP-146, 20241204 OP-7
- Quirófano 35: 20241204 OP-69
- Quirófano 36: 20241204 OP-109
- Quirófano 37: 20241204 OP-15
- Quirófano 38: 20241204 OP-128, 20241204 OP-60
- Quirófano 39: 20241204 OP-28
- Quirófano 40: 20241204 OP-4
- Quirófano 41: 20241204 OP-116
- Quirófano 42: 20241204 OP-87
- Quirófano 43: 20241204 OP-142
- Quirófano 44: 20241204 OP-141
- Quirófano 45: 20241204 OP-66
- Quirófano 46: 20241204 OP-122
- Quirófano 47: 20241204 OP-95
- Quirófano 48: 20241204 OP-127
- Quirófano 49: 20241204 OP-124
- Quirófano 50: 20241204 OP-63
- Quirófano 51: 20241204 OP-38
- Quirófano 52: 20241204 OP-40
- Quirófano 53: 20241204 OP-8
- Quirófano 54: 20241204 OP-26
- Quirófano 55: 20241204 OP-115
- Quirófano 56: 20241204 OP-123
- Quirófano 57: 20241204 OP-162
- Quirófano 58: 20241204 OP-74
- Quirófano 59: 20241204 OP-82
- Quirófano 60: 20241204 OP-155
- Quirófano 61: 20241204 OP-85, 20241204 OP-161
- Quirófano 62: 20241204 OP-71
- Quirófano 63: 20241204 OP-49
- Quirófano 64: 20241204 OP-171
- Quirófano 65: 20241204 OP-53
- Quirófano 66: 20241204 OP-81

- Quirófano 67: 20241204 OP-14
- Quirófano 68: 20241204 OP-10
- Quirófano 69: 20241204 OP-174
- Quirófano 70: 20241204 OP-52
- Quirófano 71: 20241204 OP-136
- Quirófano 72: 20241204 OP-56
- Quirófano 73: 20241204 OP-6
- Quirófano 74: 20241204 OP-16
- Quirófano 75: 20241204 OP-175
- Quirófano 76: 20241204 OP-31
- Quirófano 77: 20241204 OP-51
- Quirófano 78: 20241204 OP-153
- Quirófano 79: 20241204 OP-3
- Quirófano 80: 20241204 OP-33
- Quirófano 81: 20241204 OP-144
- Quirófano 82: 20241204 OP-119
- Quirófano 83: 20241204 OP-173
- Quirófano 84: 20241204 OP-98
- Quirófano 85: 20241204 OP-100
- Quirófano 86: 20241204 OP-137
- Quirófano 87: 20241204 OP-17
- Quirófano 88: 20241204 OP-19
- Quirófano 89: 20241204 OP-84
- Quirófano 90: 20241204 OP-48
- Quirófano 91: 20241204 OP-45
- Quirófano 92: 20241204 OP-29
- Quirófano 93: 20241204 OP-62
- Quirófano 94: 20241204 OP-93

Este resultado confirma la efectividad del enfoque, maximizando la eficiencia del bloque quirúrgico y garantizando que todas las operaciones sean cubiertas dentro de las restricciones y requisitos definidos.

De la misma forma que en el apartado 2, se ha verificado que todas las operaciones están cubiertas sin solaparse y que cada quirófano planificado respeta las restricciones de incompatibilidad.